

Mateusz Fajkus

Návrh chladiče pro chlazení světelného zdroje k pěstování řas

Concept of the Heat Exchanger for Cooling Light Source for Growing Algae

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Ing. Jaroslav Frantík, Ph.D.

Ostrava 2021

Bibliografický záznam

Autor: Mateusz Fajkus, FAJ0046

Název práce: Návrh chladiče pro chlazení světelného zdroje k pěstování řas

Studijní program: B2341 Strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Frantík, Ph.D.

Akademický rok: 2020/2021

Počet stran: 62

Klíčová slova: fotobioreaktor; chladič výměník; kultivace řas; umělé osvětlení

Zadání bakalářské práce

Student: **Mateusz Fajkus**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení
Téma: **Návrh chladiče pro chlazení světelného zdroje k pěstování řas**
Concept of the Heat Exchanger for Cooling Light Source for Growing Algae
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Přehled stávajícího stavu poznání.
2. Typy osvětlovacích systémů.
3. Přehled výrobců světelných systémů.
4. Možnosti využití odpadního tepla.
5. Návrh schématu pro využití odpadního tepla z reaktorů.
6. Výpočet výměníku pro využití odpadního tepla.

Seznam doporučené odborné literatury:

KADLEC, Zdeněk. Termomechanika: návody do cvičení. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 8070789123.
PAVELEK, M. Termomechanika. Vyd. 3., přeprac. /. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 284 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2409-5.
TEXIER, William. Hydroponie pro každého. Mama Editions, 2013. ISBN 978-2-84594-091-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Frantič, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2020
Datum odevzdání: 17.05.2021

doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 17. května 2021

.....

podpis studenta / studentky

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17. května 2021

.....
podpis

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FAJKUS, Mateusz. *Návrh chladiče pro chlazení světelného zdroje k pěstování řas*: bakalářská (diplomová) práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2021, 62 s. Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Frantík, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá chlazením světelného zdroje k pěstování řas a je rozdělena na dvě části. První část je věnována popisu kultivačních procesů řas, výběru vhodných fotobioreaktorů a světelných systémů a na konec jsou představeny také základní chladicí výměníky. Druhá část bakalářské práce se zaměřuje na návrh a výpočet vhodné chladicí technologie, návrh chladicího oběhu a volbu fotobioreaktoru pro pěstování řas s účinným světelným zdrojem.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FAJKUS, Mateusz. *Concept of the Heat Exchanger for Cooling Light Source for Growing Algae*: Bachelor (Master) Thesis. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2021, 62 p. Thesis head: Jaroslav Frantík, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the cooling of a light source for growing algae and is divided into two parts. The first part is devoted to the description of algae cultivation processes, the selection of suitable photobioreactors and light systems, and finally are introduced the basic cooling exchangers. The second part of the bachelor's thesis focuses on the design and calculation of suitable cooling technology, the design of the cooling circuit and the choice of photobioreactor for growing algae with an efficient light source.

OBSAH

Seznam použitých značek a symbolů	9
Seznam použitých zkratk	10
1 Úvod.....	11
1.1 Stanovené cíle práce	11
1.2 Rešerše stávajícího stavu	11
2 Řasy.....	13
2.1 Druhy řas	14
2.2 Kultivace řas.....	14
2.2.1 Kultivační postupy	14
2.3 Využití	16
2.4 Výhody a nevýhody pěstování	17
3 Základní typy kultivačních zařízení pro pěstování řas.....	18
3.1 Otevřené kultivační systémy	18
3.2 Uzavřené kultivační systémy.....	20
4 Osvětlení reaktoru	23
4.1 Umělé osvětlení	24
4.2 Typy světel	25
4.2.1 Výbojky nízkotlaké (fluorescenční).....	25
4.2.2 Výbojky vysokotlaké (HID).....	26
4.2.3 Indukční výbojky.....	27
4.2.4 LED osvětlení	27
5 Chlazení svítidel	29
5.1 Tepelný výměník.....	29
5.1.1 Podle proudění teplotnosných médií.....	29
5.1.2 Podle pracovního systému	29
5.1.3 Podle teplotnosných médií.....	29
5.1.4 Podle způsobů použití	30
5.1.5 Podle konstrukčního řešení	30
5.2 Teplosměnné médium	30
5.3 Typy chladicích systémů	31
5.3.1 Trubkový výměník	31

5.3.2	Deskový výměník.....	33
5.3.3	Chladič (heat sink)	33
6	Volba vhodné technologie	35
6.1	Volba vhodného fotobioreaktoru	35
6.2	Volba vhodného zdroje světla.....	36
6.2.1	Přehled výrobců světelných systémů	38
6.3	Volba vhodného chladicího výměníku	38
7	Návrh schématu pro využití odpadního tepla z reaktorů	40
7.1	Popis použitých částí v oběhu	40
7.2	Možnosti využití odpadního tepla.....	47
8	Výpočet výměníku pro využití odpadního tepla	48
8.1	Výpočet teploty vody na výstupu.....	48
8.2	Výpočet ověření maximální teploty na panelu	50
9	Konstrukční návrh výměníku	54
10	Závěr	55
11	Seznam použité literatury	57
12	Seznam obrázků a tabulek	60
12.1	Seznam obrázků	60
12.2	Seznam tabulek	60
12.3	Seznam grafů	61
13	Seznam příloh	62

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka	Jednotka	Popis
a	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	součinitel teplotní vodivosti
c_{pvoda}	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita vody
D	$[m]$	průměr kanálu
k	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	koeficient prostupu tepla
l_1	$[m]$	tloušťka plošného spoje
l_2	$[m]$	tloušťka hliníku mezi plošným spojem a médiem
L	$[m]$	charakteristický rozměr
m_{celek}	$[kg \cdot s^{-1}]$	celkový hmotnostní průtok ve výměníku
m_{voda}	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní tok vody v jednom kanálu
n	$[-]$	počet kanálů
n	$[-]$	součinitel zvětšení objemu
Nu	$[-]$	Nusseltovo číslo
O_k	$[m^2]$	obvod kanálu
$P_{d,dov,A}$	$[kPa]$	nejnižší dovolený absolutní tlak
$P_{h,dov,A}$	$[kPa]$	nejvyšší dovolený absolutní tlak
Pr	$[-]$	Prandtlovo číslo
q	$[kg \cdot s^{-3}]$	hustota tepelného toku
Q	$[W]$	celkový odvedený výkon
Q_k	$[W]$	výkon odvedený z jednoho kanálu výměníku
Re	$[-]$	Reynoldsovo číslo
S_k	$[m^2]$	průřez kanálu
$S_{chladič}$	$[m^2]$	plocha světelného zdroje
t_1	$[^{\circ}C]$	teplota vody na vstupu do výměníku
t_2	$[^{\circ}C]$	teplota vody na výstupu z výměníku
t_{max}	$[^{\circ}C]$	maximální teplota světla
W_{voda}	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost proudění vody
V_{et}	$[l]$	objem expanzní tlakové nádoby
V_0	$[l]$	objem vody v celém chladicím systému
x	$[m]$	jedna strana světelného zdroje
y	$[m]$	druhá strana světelného zdroje
λ_{hlinik}	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	tepelná vodivost hliníku
λ_{spoj}	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	tepelná vodivost plošného spoje z materiálu FR4
λ_{voda}	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	tepelná vodivost vody
Δt	$[^{\circ}C]$	rozdíl teplot
η	$[-]$	stupeň využití energie
ρ_{voda}	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota vody
ν_{voda}	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita vody

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CFL	compact fluorescent lamp (kompaktní fluorescenční lampy)
CO ₂	oxid uhličitý
HID	high-intensity discharge lamps (výbojky s vysokou intenzitou)
HPS	high pressure sodium (vysoký tlak sodíku)
LED	light-emitting diode (elektroluminiscenční dioda)
MH	metal halide (halogenidy kovů)
př. n. l.	před naším letopočtem
PVC	polyvinylchlorid
UV	ultrafialové
FR4	epoxidový laminát vyztužený sklem

1 ÚVOD

Produkce biomasy za účelem výroby biopaliv, krmiv nebo léčebných doplňků probíhá v kultivačních zařízeních. Charakteristika řas na první pohled spadá spíše pod obor biologie. Ve skutečnosti ale můžeme toto odvětví také zařadit pod energetické vědní proudy. Pokud chceme navrhnout správný světelný zdroj, ze kterého následně budeme odvádět teplo, potřebujeme znát, jaké spektrum barev o určité intenzitě daný druh řas potřebuje, jakou teplotu je třeba dodržovat v místnosti a jakou cirkulaci média nastavit při konkrétním fotobioreaktoru, aby došlo k účinné fotosyntéze. Pro komerční pěstování řas se používá uzavřené fotobioreaktory, které vyžadují umělý zdroj světla k prozáření kultivačního média. Aby nedošlo k přehřátí světelného zdroje o velké tepelné energii, je třeba navrhnout chladicí systém, což je hlavním předmětem této bakalářské práce. Chladicí výměníky jsou nedílnou součástí světelných zdrojů, ať už se jedná o pasivní chladiče, nebo o vodní výměníky. V případě chladičů, ve kterých proudí teplosměnné médium, je třeba navrhnout schéma pro využití odpadního tepla.

1.1 Stanovené cíle práce

Cílem této bakalářské práce je navrhnout konstrukční řešení chladiče pro chlazení světelného zdroje k pěstování řas. Součástí zadání je seznámení se s problematikou kultivačních zařízení, světelných systémů a chladicích výměníků. Mezi hlavní cíle mé bakalářské práce patří:

- Rozbor a popis základních pojmů kultivace, osvětlení a chlazení;
- hodnocení různých variant a volba vhodné technologie fotobioreaktoru, umělého světelného zdroje a chladicího výměníku;
- navržení schématu chladicího oběhu;
- výpočet chladiče pro využití odpadního tepla z osvětlení;
- konstrukční návrh chladiče s výkresovou dokumentací.

1.2 Rešerše stávajícího stavu

Chlazení elektronických zařízení včetně světelných zdrojů je velmi rozsáhlé téma, které nesmí být podceňeno. Všechna výkonnější světla mají chladicí systémy, které odvádí vyprodukované teplo. Možností chladicích výměníků je velmi mnoho. Nejpopulárnějšími výměníky jsou aktivní chladiče s větrákem, výkonnější trubkové a deskové výměníky nebo jednoduché pasivní chladiče, které absorbují teplo pomocí žebrování a odvádí ho do prostoru. V případě světelných zdrojů se chladiče vybírají podle tepelné energie světelných zdrojů a maximální dovolené teploty osvětlení, protože často dochází k přehřátí světelných zdrojů nebo ke snížení jejich životnosti. Mezi nejúčinnější světla, která se používají jak ve veřejných prostorech, domácnostech, tak i pro kultivační zařízení, patří LED diody. Pro pěstování řas lze zakoupit LED panel sestavený z několika druhů čipů, jejichž barevné spektrum bude nejvhodnější pro konkrétní řasu. Množství použitých čipů a jejich intenzita jsou spojeny jak s chladicím zařízením, tak s pěstební plochou.

Pěstební plocha neboli kultivační zařízení je technologický systém pro pěstování řas ve vodním prostředí. Produkce řas započala již 500 let př.n.l., kdy lidé postupně objevovali možnosti využití

těchto rostlin, a to jak v jídle, tak ve formě hnojiva. Dnes se řasy produkují hlavně za účelem výroby biopaliva, které by pomohlo snížit spotřebu fosilních paliv. Ve světě jsou populární nejenom otevřené kultivační systémy, které jsou v přímém kontaktu s přírodou, ale i uzavřené vnitřní a vnější fotobioreaktory, nad kterými máme větší kontrolu. Výběr vhodného fotobioreaktoru závisí jak na klimatických změnách v daném kraji, tak na účelu, zda se jedná o pěstování laboratorní nebo komerční. Mezi nejpoužívanější systémy patří otevřené traťové nádrže a uzavřené deskové nebo válcové fotobioreaktory.

2 ŘASY

Latinsky: Algae algologie znamená věda o řasách. Jedná se o autotrofní organismy, což znamená, že k vytvoření výživy nepotřebují jiné organismy. Pomocí fotosyntézy čerpají ze slunečního záření fotoautotrofní energii. Chlorofyl a,b,c nebo d+ jsou barviva plastidu řas. Jsou to rostliny, které rostou ve vodním prostředí. Tělu řas se říká jednobuněčná nebo mnohobuněčná stélka. [1][2][3][6]

Stavba těla – stélka

- Bičíkatá – jedná se o jednobuněčnou stélku kapkovitého tvaru, obsahující 2 bičíky pro pohyb ve vodě;
- měňavkovitá – jednobuněčná, bez pevné buněčné stěny;
- kapsální – jednobuněčná stélka, ohraničena slizem kvůli životu v slizových koloniích. Vytvořením bičíku se může odtrhnout a odloučit se od kolonií;
- buněčná – neboli kokální, je to jednobuněčná stélka oválného tvaru;
- vláknitá – mnohobuněčná stélka mající složitou stavbu a jednoduchý tvar;
- trubicovitá – mnohobuněčná stélka;
- pletivná – rozrůstá se do více směrů. [1][3][6]

Rozmnožování

Dělíme je na pohlavní a nepohlavní. Nepohlavní rozmnožování může probíhat za přítomnosti jednobuněčných výtrusů, které jsou pohyblivé, mají bičík a říká se jim zoospor, anebo za přítomnosti bez-bičíkatých výtrusů, které se po prasknutí mateřské buňky uvolní do okolí. Pohlavní rozmnožování se dělí na samčí a samičí. Samčí buňky jsou spermatozoidy s bičíkem a jsou pohyblivé a v případě samičích se jedná o buňky vaječné, které jsou nepohyblivé. Při spojení vzniká zygota. [1][2][6]



Obrázek 2.1 – Příklad řasy rodu *Compsopogon* [7]

2.1 Druhy řas

Oddělení: **Červené řasy** – ruduchy (Rhodophyta);

- mají pletivé nebo vláknité stélky, nikoliv bičíkaté;
- jsou to řasy mořské, občas sladkovodní;
- mají většinou červenou, šedou nebo hnědou barvu;
- můžou růst v obrovských hloubkách;
- zástupci: Rod Porhyba, Rod Hildebrandia.

Oddělení: **Hnědé řasy** (Chromophyta);

- schopnost vytvářet bičík;
- mají většinou hnědou barvu;
- můžou růst v značných hloubkách;

třída: **Zlativky** – jednobuněčné, sladkovodní;

třída: **Rozsivky** – jednobuněčné, největší dodavatel biomasy v mořích;

třída: **Chaluchy** – pletivé stélky, žijí v mořském prostředí.

Oddělení: **Krásnoočka** (Euglenophyta);

- mají jednobuněčné stélky, bičíkaté;
- žijí v znečištěném, vodním prostředí;
- mají červené stigma, které reaguje na světlo a řídí jejich pohyb.

Oddělení: **Zelené řasy** (Chlorophyta);

- mají pletivé a bičíkaté stélky;
- jedná se o nejrozsáhlejší skupinu známou svým zeleným pigmentem;
- žijí ve vlhkých a vodních prostředích;

třída: **Zelenivky** – jednobuněčné, př. Chlorella;

třída: **Spájivky** – jednobuněčné, vláknité stélky. [1][2][6][7]

2.2 Kultivace řas

Základními požadavky na pěstování řas jsou voda, oxid uhličitý, živiny a světelná energie. Kultivačním procesem a za pomoci fotosyntézy vznikají nové organické živiny. Na fotosyntéze má podíl především světelná energie. Světlo při své největší intenzitě, dopadající na zemský povrch, je desetkrát vyšší, než pro fotosyntézu potřebujeme. Při procesu dochází ke ztrátě až 90 % světelné energie z důvodu fotosyntetického aparátu, který by se mohl poškodit. Množství využití světelné energie závisí na intenzitě míchání, dokonalé hustotě buněk a sestavení potřebných kultivačních strojů. [3][9]

Voda využívána při kultivaci může být nízké kvality, a to včetně průmyslových vod, odpadních vod nebo tekutých odpadů z biologického čištění. [8]

Řasy jsou organismy vodního původu a podobně jako rostliny produkují kyslík a spotřebovávají oxid uhličitý. Rozdíl je však v účinnosti fotosyntézy. Rostliny spotřebují 0,77 kg CO₂ pro vznik 1kg kyslíku. Řasy mají značně účinnější fotosyntézu, ale spotřebují trojnásobek CO₂ v porovnání s ostatními rostlinami. [3][8][9]

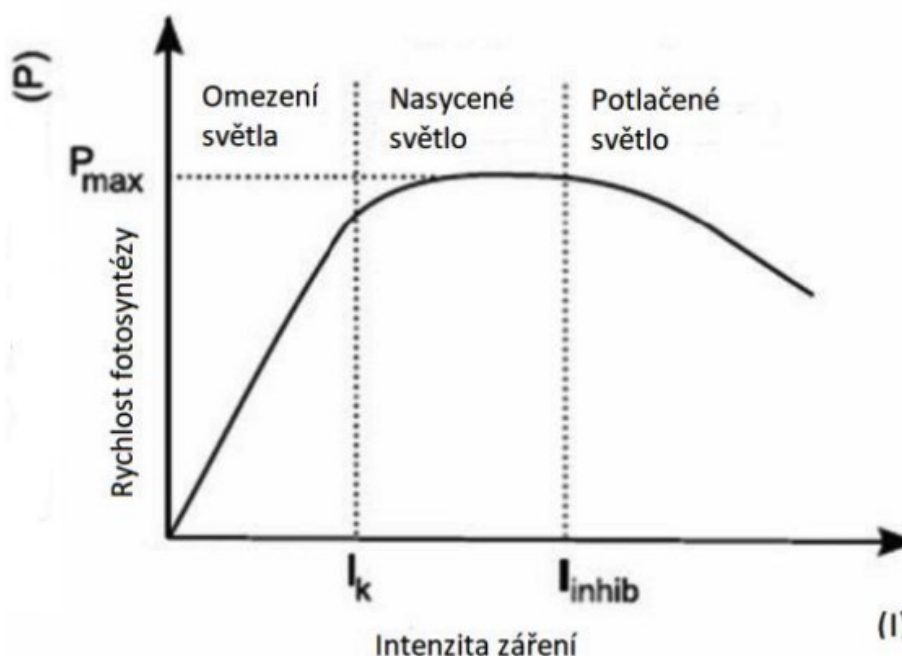
2.2.1 Kultivační postupy

Velmi krátká doba růstu a přizpůsobení se v mnoha prostředích jsou vlastnosti, které má až 50 000 druhů řas. Mezi faktory, které ovlivňují růst řas a produkci biomasy, patří množství kyslíku,

kvalita živin, pH, světlo, teplota a oxid uhličitý. V závislosti na kultivačním zařízení a podmínkách v dané lokaci je třeba přizpůsobit vhodný druh řas pro pěstování, protože reakce různých řas ve stejném prostředí je odlišná. [3][8][9]

Světlo

Pokud zkoumáme fototrofní kultivace řas, můžeme se setkat jak s používáním přirozeného slunečního světla, tak s umělým osvětlením. Za čerpání energie ze slunečního světla nemusíme platit, ale nejsme schopni ovlivnit denní cyklus, roční období nebo počasí. Světlo je jeden z mnoha faktorů, který ovlivňuje kultivaci řas a celý kultivační proces. Závislost světla na fotosyntéze můžeme vidět na obr. 2.2. Body I_k a I_{inhib} jsou přechodné body mezi třemi částmi, znázorňující průběh fotosyntézy v důsledku intenzity světelného záření. V bodě I_k působí ideální světelné záření. [3][5]



Graf 2.1 – Poměr rychlosti fotosyntézy k intenzitě záření [4]

Teplota

Jedním z nejdůležitějších parametrů, který vyžaduje značnou péči při kultivaci v bioreaktoru, je teplota. V závislosti na kultuře řas je třeba dodržovat optimální teplotní rozmezí. V případě nízké teploty dojde ke zpomalení růstu řas. Při vysoké teplotě dochází k úmrtí bílkovin, a tím i ke snížení jejich kvality. Průměrná teplota při kultivaci by se měla pohybovat mezi 16°C až 25°C. [3][5]

Kvalita živin, míchání

Dalším úkolem je neustálé míchání kultur, aby nedošlo k usazení řas. Při intenzivní cirkulaci dochází k výměně plynů mezi CO₂ a O₂, udržení požadované teploty a přísunu živin. Přísun CO₂ je obzvlášť požadovaný při produkci hustých kultur. [3][5]

pH

Ideální pH pro růst řas se pohybuje mezi 8,2 – 8,7. To je ovlivněno druhem dané řasy, která živiny konzumuje a uvolňuje metabolity do média. Velikost pH je důležitá jak pro produkovanou biomasu, tak pro celý cyklus růstu řas. [3][5]

Rozlišujeme 2 kultivační režimy, a to vsádkový a kontinuální. Při vsádkovém režimu celkovou kulturu sklízíme a zpracováváme najednou. Při druhém režimu pěstovanou kulturu sklízíme kontinuálně, tak aby měla kultura dostatečný čas na růst. Při běžné kultivaci jsou do celkové produkce zařazeny oba režimy. Jedná se o tzv. semikontinuální režim, při kterém si můžeme vybrat, kterou sortu kultury odebereme a zpracujeme a kterou budeme odebírat průběžně. [3][5]

2.3 Využití

Řasy a člověk

Lidé v Číně začali využívat řasy už 500 let př.n.l. jako jídlo nebo hnojivo. V důsledku migrací se různé zvyky a tradice přenesly také do Evropy, včetně využívání řas. Postupem času se vyvíjely nové kultivační systémy, a to jak pro komerční využití, tak i pro export do jiných zemí. Pěstování řas je stále více populární, a to zejména kvůli rychlosti jejich růstu nebo velkého spektra využití v rámci potravních doplňků anebo také pro jejich léčebné schopnosti. Nejpopulárnější využití řas je za účelem výroby biomasy. Biomasu obdržíme přes kultivaci v přírodních nebo umělých nádržích s následným oddělením od růstového média a vysušením. Finálním produktem je zelená nebo oranžová hmota v podobě prášku, která se prodává v obchodech se zdravou výživou. Lze předpokládat, že zdravá strava se v budoucnu stane jistotou pro využívání řas k výživě lidí. Nejvýznamnější rody řas v poměru vyprodukovaných tun za rok můžeme vidět v tabulce č. 2.1. [10][11]

Tabulka 2.1 – Nejvýznamnější rody řas [11]

Řasa	Produkce (tuny/rok)
<i>Spirulina</i>	3,000
<i>Chlorella</i>	2,000
<i>Dunaliella</i>	1,200
<i>Nostoc</i>	600
<i>Aphanizomenon</i>	500

Krmivo pro zvířata

Růst zvířat, jejich plodnost, produktivita nebo přežití je odrazem jejich zdravotního stavu. Nejdůležitějším exogenním faktorem je kvalita stravy, která ovlivňuje zdraví zvířat, zejména v souvislosti se současným trendem dobrých podmínek chovu a vyhýbání se chemikáliím (např. antibiotikům). Po desetiletí experimentů souvisejících s krmením zvířat jak vysokou dávkou mikrořas (až 50 % normálního krmiva) za účelem využití obsahu bílkovin, tak menší dávkou mikrořas v krmivu, bylo prokázáno, že již velmi malé množství biomasy (hlavně *Chlorella*, *Spirulina* a *Scenedesmus*) může

mít pozitivní vliv na fyziologii zvířat. Po tomto experimentu došlo k masivnímu využívání biomasy jako doplňkových látek, a to zejména v krmivech pro drůbež. [11]

Biohnojiva

Kdysi se řasy používaly jako hnojivo v oblastech pobřežní půdy po celém světě, protože jejich přítomnost navyšovala minerální složení půdy, zlepšovala vázanost vody a vázanost dusíku. Významnou roli mikrořas v původním ekosystému jsme ale často přehlíželi, protože mají schopnost pozitivně ovlivnit rovněž vyšší rostliny přes odvození bioaktivních sloučenin. Dalším přínosem biohnojiv je využití biologické aktivity produktů z řas proti chorobám rostlin, které jsou způsobené viry nebo bakteriemi. Je velmi pravděpodobné, že pomocí biologických látek, které se v mikrořasách vyskytují, budeme chránit jiné rostliny. [11]

Biopaliva

Za účelem snížení spotřeby fosilních paliv lidstvo začalo vyrábět biopaliva rovněž z řasové biomasy. Biopalivo je ekologičtější a obnovitelné. Bio-diesely, bio-oleje nebo bioplyny je taktéž možné obdržet z biomasy. Důvodem, proč fosilní paliva nejsou celkově nahrazena biopalivy, je cena a produktivita biomasy. Náklady na celý kultivační proces, včetně surovin a energií, jsou značně větší než konvenční zdroje. [10]

Léčebné doplňky

Mikrořasy mají velmi široké spektrum bioaktivních látek. [10]

2.4 Výhody a nevýhody pěstování

Výhody pěstování řas a následné využití jsme mohli zaznamenat v různých civilizacích, a to jako doplněk stravy nebo léčebný doplněk. Přes sklízění vodních květů sinice a sušení biomasy pro potravní doplňky, až po komerční pěstování řas pro dietní doplňky, jsme se naučili využívat řasy v jejich plném potenciálu. Biomasa má v sobě nejen mnoho výživných látek a bílkovin, ale rovněž sloučeniny zabraňující šíření virů, bakterií a nádorů. Tyto všechny aktivity jsou obrovským přínosem pro lidský, zvířecí i rostlinný život. [8][10][11]

V případě, že na povrchních vodách se vyskytne větší množství živin (eutrofizace), dochází k do růstu vodních květů mikrořas. Jedná se o nežádoucí jev, zapříčiněný lidskou činností, kvůli nedodržení čistoty povrchových nádrží. Nádrže se znečistí přes komunální nebo průmyslové odpadní vody. Výskyt vodních květů má dopad na životní prostředí. Zhoršuje se kvalita vody přes rozpad biomasy, uvolňují se toxické látky nebezpečné pro člověka. Jedním z příznaků, jak člověka může tento jev zasáhnout, je migréna, nevolnost nebo alergická reakce. [10][11]

3 ZÁKLADNÍ TYPY KULTIVAČNÍCH ZAŘÍZENÍ PRO PĚSTOVÁNÍ ŘAS

Technologický systém pro pěstování řas ve vodním prostředí se nazývá kultivační zařízení. Všechny důležité parametry (osvětlení, cirkulace, teplota, cirkulace plynů, čištění) je třeba navrhnout individuálně, podle konkrétního kultivačního systému, který bude optimální pro daný kmen. Řasy můžeme rozdělit podle kultivačního cyklu na autotrofní (fototrofní), heterotrofní a mixotrofní. [5][8]

Zabýváme se hlavně produkcí fototrofní, kterou dále dělíme na otevřené kultivační systémy, uzavřené fotobioreaktory a hybridní fotobioreaktory. Jestli pěstujeme řasy v přímém kontaktu s přírodou, jedná se o otevřenou kultivaci. Pokud máme uzavřenou nádrž, potom může jít jak o vnitřní, tak i vnější kultivace v uzavřeném nebo polouzavřeném fotobioreaktoru. Spojení obou variant můžeme vidět v hybridním fotobioreaktoru, který je tvořen různými kultivačními systémy. [5][8][10]

Fotobioreaktor

Fotobioreaktor je zařízení, ve kterém probíhá kultivace řas v uzavřených nebo polouzavřených prostorech, a je navrženo tak, aby eliminovalo všechny nedostatky otevřených nádrží. Fotobioreaktor odděluje pěstovanou kulturu od vnějších povětrnostních vlivů, nekontrolovaného, přímého slunečního záření, teploty, vlhkosti a všech atmosférických parametrů. Vytvořením vhodných podmínek pro pěstování řas obdržíme kontrolovatelný proces, který má značně vyšší produktivitu než systém otevřených nádrží. [5][8][10]

3.1 Otevřené kultivační systémy

Kultivační venkovní systémy, sloužící ke komerční produkci biomasy, jsou otevřené nádrže různého druhu. Komerční využití mají proto, že na jejich provoz a konstrukci není třeba takových investic, jako je tomu v případě uzavřených reaktorů. Nádrže jsou konstruovány z různých konstrukčně spolehlivých materiálů (betonu, laminátu, nerezové oceli, PVC), v závislosti na klimatu daného místa a finančních možnostech. Oběžná čerpadla, lopatková kola, rotující ramena nebo bublání směsi vzduchu zajišťuje míchání kultury. Míchací proces může být nedostačující v případě, že suspenze má větší hloubku, než je dosah ozáření buněk. Čím větší hloubka suspenze, tím menší dopad světla ve vrstvách vzdálených od povrchu. Otevřené kultivační systémy mají své výhody a nevýhody. Omezenost míchání ve vrstvách suspenze je nevýhoda, která má vliv na malou produktivitu biomasy, protože kulturu pěstujeme v nízkých koncentracích biomasy (0,5–1 g biomasy na litr). Nízká produktivita, jednoduchost obsluhy, malá koncentrace biomasy se odráží na ceně, a proto jsou otevřené systémy levnější než fotobioreaktory. Dalšími výhodami jsou nepřehřívající se systémy a jednoduchost odvodu kyslíku. [5][8][10]

Otevřené nádrže se používají pro kultivaci řas rychlého růstu nebo pro kultivaci v charakteristických podmínkách a jsou využívány hlavně v tropických regionech z důvodu malých srážek a oblačnosti. Nejčastěji využívané mikrořasy k produkci biomasy jsou *Chlorella*, *Arthrospira*, *Dunaliella* a *Nannochloropsis*. Nejpopulárnějšími představiteli otevřených nádrží jsou systémy traťové nebo kaskádové. [8]

Traťové kultivační systémy

Rozlehlé, mělké kultivační systémy pro pěstování mikrořas *Dunaliella salina* jsou významné hlavně v Austrálii. Jsou charakteristické svým oválným tvarem kanálu, ve kterém cirkuluje slané médium řas. Tyto nádrže mají malou hloubku (20–30 cm), aby světlo mohlo dopadat na všechny vrstvy pěstované kultury. Výrazná lopatková kola míchají kulturu, a tím dochází k proudění média. Traťový kultivační systém má nízkou produktivitu (~ 1 g [sušiny]. $m^{-2}.den^{-1}$) z důvodu neefektivního prozařování, ale zato zpracuje velké množství vyprodukovaných řas. [8][10]



Obrázek 3.1 – Otevřené traťové kultivační nádrže v Mexiku [12]

Kaskádový kultivační systém

Další možností pěstování řas v otevřených kultivačních systémech jsou kaskády o tenkovrstvých médiích. Princip spočívá v nakloněných panelech, po kterých cirkuluje medium řas. Dobrý dopad světla na buňky řas je ve všech velmi tenkých vrstvách. Významné jsou Třeboňské kaskády, které se využívají k produkci biomasy z řas rodu *Chlorophyta*. Celý proces je velmi produktivní z důvodu rychlé rostoucí zelené kultury, dobrého osvětlení, vzniku husté biomasy, dobré sklizně, jednoduchého odvodu tepla a nízkých investic. Nevýhodou kaskádových systému jsou malé plochy pro pěstování řas. [8][10]



Obrázek 3.2 – Kaskádový kultivační systém [13]

3.2 Uzavřené kultivační systémy

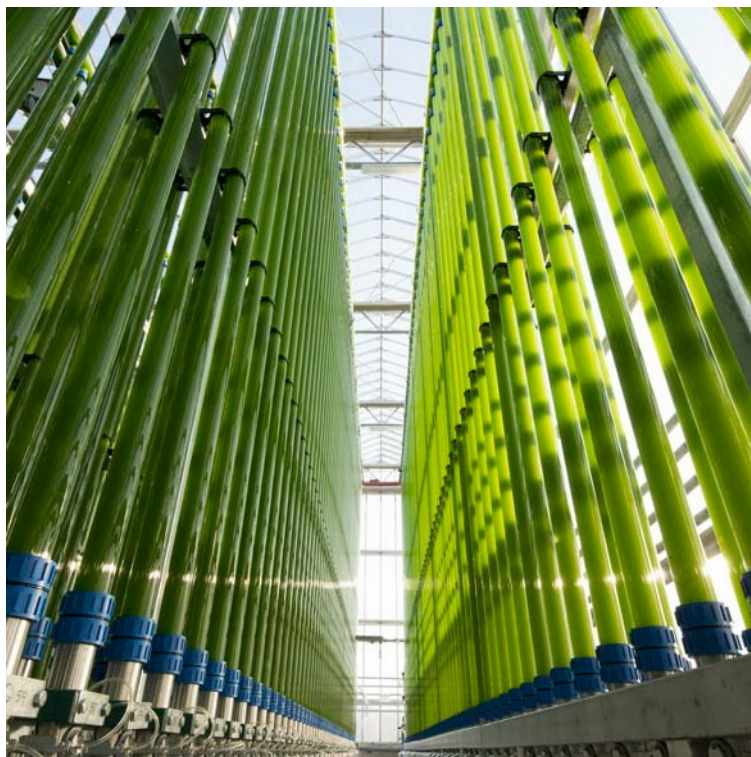
Kultivační uzavřené nebo polouzavřené systémy jsou vhodné k vědeckým účelům. Osvětlení při fotosyntetickém růstu je ve většině případů v podobě umělého světla. Kvalita a hustota biomasy je značně vyšší než u otevřených systémů z důvodu možnosti kontroly a regulace teploty, pH nebo CO₂. Náklady jsou výrazně větší z důvodu kvalitního míchaní kultury, čištění ucpaných nečistot a dodržení všech parametrů kvalitního prostředí pro dobrou fotosyntézu. [8][10]

Fotobioreaktory lze charakterizovat podle lokality zařízení, účelů kultivace a vybraných kmenů. Nejjednodušším modulem uzavřeného kultivačního zařízení je vak, do kterého proudí vzduch ve formě obohaceného CO₂ a míchá kulturu mikrořas. Základní fotobioreaktory dělíme podle systému kultivační smyčky, která může být sestavena z horizontálních nebo vertikálních trubek, panelů nebo válců. Materiál použitý k výrobě těchto systémů je průhledný plast nebo sklo. Cirkulace a míchaní média je zajištěno bubláním stlačeného vzduchu (s 1–2 % CO₂) nebo čerpadly. Dalším z nákladů je neustálé udržování požadované teploty v zahřívajícím se fotobioreaktoru. Běžné chladicí metody jsou tepelné výměníky nebo vodní postřiky povrchu nádrže. [8][10]

Trubkový fotobioreaktor

Médium proudící v trubkových fotobioreaktorech je dokonale prozářeno z důvodu průhledného materiálu trubek. Trubky dělíme podle horizontálního, vertikálního, spirálního nebo jinak nakloněného uložení. Čerpadlo se stará o cirkulaci kultury, do které je přiváděn plyn a oxid uhličitý, díky provzdušňovacímu systému. Řasy se mohou usazovat, a proto nám přítomnost proudícího plynu zajišťuje konstantní míchaní média. Konstrukci systému trubkového fotobioreaktoru dělíme na část provzdušňovací a na část ozařovanou.

V provzdušňovací části dochází k fotosyntéze, oxid uhličitý vstupuje do systému, vyprodukovaný vzduch je odváděn a zároveň se zde nachází výstup pro odběr vypěstovaných řas. V ozařované části dochází k ozáření média. Trubice se navrhují tak, aby jejich průměr byl dostačující pro ozáření všech vrstev kultury. [8][10]



Obrázek 3.3 – Trubkový fotobioreaktor [14]

Deskový fotobioreaktor (panelový)

Z důvodu průhledného materiálu desek je médium proudící v jejich úzkém prostoru ozářeno v celém svém objemu. Aerační systém, nacházející se na dně deskového fotobioraktoru, zajišťuje promíchávání média. Cirkulaci média zajišťuje čerpadlo se vzduchem a obohacenými plyny. Konstrukci systému deskového fotobioreaktoru dělíme stejně jako u trubkového fotobioreaktoru na část provzdušňovací a na část ozařovanou. Obě sekce jsou oddělené. Výhodou deskových fotobioreaktorů je možnost zpracovávat médium ve velkém měřítku. [8][10]



Obrázek 3.4 – Deskový fotobioreaktor [15]

Válcový fotobioreaktor

Řasy jsou pěstovány v průhledné nádobě ve tvaru válce a jejich ozáření může být vnitřní umělé anebo vnější. Ozařovací proces není ideální z důvodu velkého objemu média. Bez promíchání kultury nedosáhneme úplného prozáření. Rozlišujeme mechanické a pneumatické promíchávání. Pneumatický způsob využívá aerační systém, který umožňuje přísun oxidu uhličitého, čímž dochází k cirkulaci média. Válcové fotobioreaktory mají neefektivní prozařovací systém, ale množství vyprodukovaných řas je nemalé. [8][10]



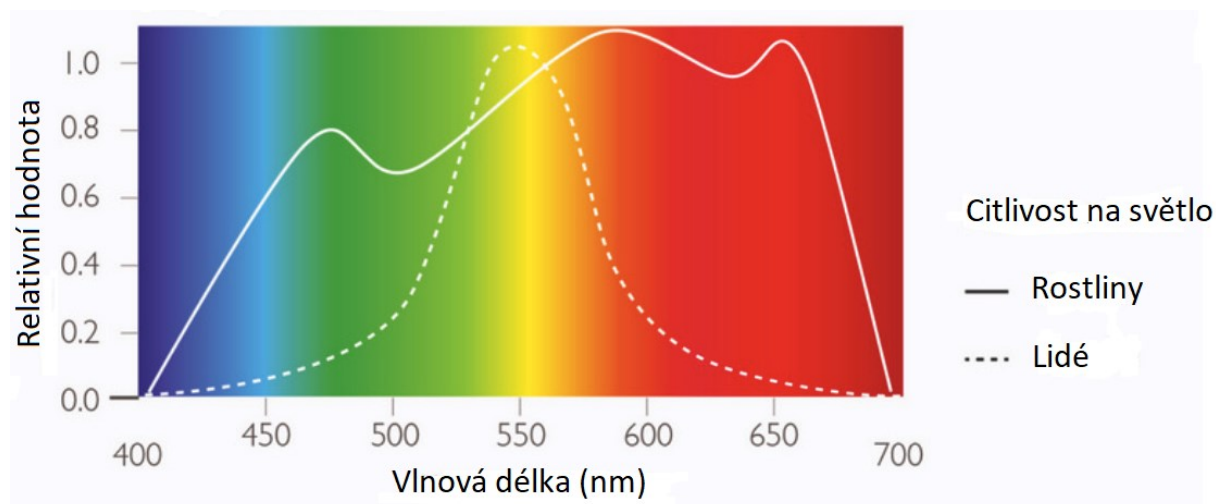
Obrázek 3.5 – Válcový fotobioreaktor [16]

4 OSVĚTLENÍ REAKTORU

Jedním ze základních prvků při konstrukci reaktoru pro fototrofní kultivaci řas je světlo. Zdroj světla může být jak přírodní, tak umělý, v závislosti na tom, zda kultivace probíhá v otevřených nebo uzavřených reaktorech. V případě otevřených reaktorů konstruuujeme pouze filtry pro udržování a měření světelného záření, protože samotným zdrojem světla je slunce. Při uzavřených systémech zdroj světla může být jak přirozený, tak umělý. [3][10]

Světelné spektrum

Fotosyntéza je závislá nejenom na oxidu uhličitém, vodě a teplotě, ale hlavně na světelném spektru. Typ a kvalita spektra jsou důležité, protože mají velký vliv na růst rostliny. Světelné spektrum můžeme emitovat pomocí umělých osvětlení i pobírat ze slunce. Elektromagnetické vlny, zařící ze slunce, mají různou délku a frekvenci. Při pěstování rostlin využíváme pouze úzký výběr tohoto spektra, a to v rozmezí od 100 nm do 750 nm. V výběru od 100 do 400 nm se jedná o ultrafialové záření a v případě rozmezí od 420 do 680 nm jde o viditelnou část spektra. Fotosyntetické aktivní záření je rozsah spektra, který rostliny potřebují k fotosyntéze. Tento rozsah se nachází v rozmezí od 400 do 700 nm. [17]



Graf 4.1 – Poměr relativní hodnoty k vlnové délce [17]

Chlorofyl, nacházející se v zelených řasách, má zelené zabarvení pigmentu a pro fotosyntézu potřebuje záření hlavně modré a červené části spektra. Zelené zabarvení se vyskytuje u všech fotosyntetizujících rostlin z důvodu pobírání modrých a červených vlnových délek. Zelené a žluté záření je odraženo, ale z malé části je rostlina také potřebuje. Při výrobě umělých světél pro kultivaci řas zůstává princip stejný. Zelenožluté světlo je utlumené a emitované barvy spektra jsou červené a modrofialové, aby byla fotosyntéza nejúčinnější. [18]

UV záření (100-400 nm)

Vlnová délka ultrafialového záření je pro rostlinu velmi důležitá. Čím je délka UV kratší, tím více rostlině škodí. UV záření má vliv na barvu rostliny, chuť i metabolické procesy. Při umělých osvětleních mají nejvyšší emitaci ultrafialového záření úsporné zářivky TCL. [17]

Modré spektrum (430–450 nm)

Přítomnost modrého světla má velký vliv na řadu jevů spojených s fotosyntézou a fototropismem. Dané spektrum má vliv na růst rostliny, na otevírání průduchů pro výměnu plynů, na tvar růstu a na počet chlorofylu. Mezi umělými svítidly jsou významná modrá spektra u výbojek a úsporných žárovek CFL. [17][18]

Zelené spektrum (500–550 nm)

Zelené spektrum je velmi specifické, protože zelený chlorofyl větší část toho záření odrazí, ale neznamená to, že ho rostlina vůbec nepotřebuje. Je to úzký rozsah spektra, které se podílí na kvalitě produkce a na fototropismu. Působení zeleného světla je mezi různými rostlinami velmi odlišné. [17]

Červené spektrum (640–680 nm)

Světlo zářící v červeném spektru je důležité jak pro fotosyntézu, tak pro kontrolování růstu stonků, vytváření chlorofylu a vznik plodů. Červené spektrum o délce světla 660 nm je pro fotosyntézu nejúčinnější. Rostlina absorbuje jak červené světlo (red), tak infračervené světlo (far red), které se už nenachází ve fotosynteticky aktivním spektru, protože má délku 730 nm. Pro růst je však toto světlo důležité, protože v případě, že rostlina je zastíněná jinou rostlinou, nemá dostatek červeného světla a začne růst do výšky díky infračervenému světlu. Je však dobře mít obě světla vyvážené. Velkou část emitujícího červeného světla mají výbojky a úsporné žárovky CFL. [17][18]

4.1 Umělé osvětlení

Princip sestavy umělého osvětlení spočívá v přeměně elektrické energie na světlo, bez kterého by se neuskutečnil proces fotosyntézy zajišťující růst řas. Umělé osvětlení se konstruuje jak v interiérech, tak v uzavřených venkovních systémech z důvodu nedostatku přirozeného světla, změn ročních období a střídání dnů a nocí. Deficit světla může vést k pomalé kultivaci, k nestandardní výšce rostliny a její štíhlosti. Zdroj světla pro uzavřené systémy je třeba zvolit podle několika parametrů, které budou nejvíce odpovídat požadavkům dané rostliny. [17][18]

Výkon světla

Volíme ho podle velikosti plochy pro pěstování a podle druhu řas. Průměrně plocha o velikosti 1 m² vyžaduje výbojku o výkonu 400 W. V případě modernějšího LED osvětlení pro stejně velkou plochu je potřeba 300 W. [17]

Světelné cykly

Při instalaci osvětlení pro kultivační zařízení je třeba naprogramovat pro různé druhy rostlin intervaly svícení tak, jak je na ně rostlina zvyklá v přírodě. Není dobré, aby rostliny byly neustále ozařovány, protože by mohly zaniknout. Celý světelný cyklus je velmi náročný na imitaci, protože v průběhu vegetační doby rostlina potřebuje intenzivnější světelné záření. Postupem času se také mění doba svítivosti, stejně jak se v přírodě zkracují dny a prodlužují noci. Systém pohlcování světelné energie a následný růst je závislý na světelném cyklu. [19]

Vlnová délka

Umělá svítidla mohou emitovat reálné světelné spektrum o vlnových délkách vhodných pro růst řas. Pěstitelé mají již zkušenosti s výbojkami HPS a s fluorescenčními lampami, které zařídí plné spektrum barev podle potřeby dané rostliny. Tato svítidla jsou ale velmi drahá na provoz a nemají dokonalý chladič systém. Proto pěstitelé přišli s LED světly, která mají větší energii svítivosti modrého a červeného spektra a svými diodami poskytnou vlnové délky od ultrafialového až po infračervené záření. Jsou schopna přizpůsobit svítivost ve všech fázích kultivace. [17][19]

4.2 Typy světel

Velmi populárním zdrojem světla pro pěstování jsou výbojky, které dělíme na vysokotlaké a nízkotlaké. Elektrické výboje ve směsích plynů a páry tvoří zdroj světla. Jsou schopné poskytnout plné spektrum barev, ale k jejich provozu potřebujeme ve většině případů také předřadník s objímkou a reflektorem. Novou variantou výbojkových svítidel jsou plazmové světelné zdroje. Další možnosti osvětlení jsou LED diody, které jsou velmi snadné na provoz, protože jim stačí přísun elektrické energie. Mezi zbývající možnosti zdrojů světla patří klasické žárovky, které jsou nejméně populární. [19][20][21][22]

4.2.1 Výbojky nízkotlaké (fluorescenční)

Fluorescenční svítidla (Compact fluorescent lamp) dělíme na zářivkové trubice a sodíkové lampy CFL. [21][22]

Zářivkové trubice

Osvětlení v podobě zářivkových trubic má intenzivnější světelné spektrum než klasické žárovky, ale není až tak účinné jak HPS osvětlení. Výhodou zářivek je jejich tenký tvar a možnost zamontování v malých prostorech. K provozu fluorescenčních trubic je třeba zakoupit předřadník, který bude regulovat proud a stojany, k nimž budou trubice přimontované. Lze také zvolit dražší volbu a zakoupit vše v jednom systému. [19][21][22]



Obrázek 4.1 – CFL lampa [21]



Obrázek 4.2 – Zářivková trubice [18]

Sodíkové lampy (CFL)

CFL zářivky (kompaktní fluorescenční lampy) se staly náhradou za klasické žárovky nejen v kultivačním průmyslu. CFL lampy jsou daleko účinnější než žárovky, a přesto že tato technologie je už stará více než 100 let, tak až v posledních desetiletích pokročila technologie pro komerční výrobu. Tyto úsporné zářivky potřebují pouze 20-30 % energie klasických žárovek a jejich životnost je 8-16krát delší než u žárovek. Jejich světelné spektrum je významné v modrých a červených barvách. Výhodou těchto zářivek je, že nevyzařují mnoho tepla na rostlinu, a proto můžeme mít intenzivní osvětlení za konstantní teploty. [19][21][22]

4.2.2 Výbojky vysokotlaké (HID)

Výbojky s vysokou intenzitou (High-intensity discharge lamps) jsou mezi pěstiteli velmi populární. U vysokotlakých výbojek se můžeme nejčastěji setkat s rtuťovými výbojkami (MV), sodíkovými výbojkami (HPS) nebo halogenidovými výbojkami (MH). Rtuťové výbojky jsou ale nejméně účinné mezi HID výbojkami, protože jejich intenzita záření odpovídá 32 lumenům na watt, zatím co HPS výbojky vyzařují až 140 lumenů na watt. Princip vytvoření světla ve vysokotlakých výbojkách spočívá v přivedení vysokého napětí do trubice, ve které proud projde plynou směsí, a tím dojde k odpaření a vzniku UV energie. Plyná směs může být argon, xenon, rtuť s halogenidem kovu. [19][21][22][23]

Vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS)

HPS (High pressure sodium) výbojky mají nejvyšší účinnost mezi vysokotlakými svítidly. Jejich zlatá barva svítivosti poskytuje až 2,5krát více světla než lampa rtuťová. Z důvodu jejich velké intenzity záření a širokého spektra barev HPS lampy produkují velké množství tepla, a to je jejich nevýhoda, protože vyžadují konstantní chlazení. Jejich výhodou je flexibilita výběru jak velikostí, tak výkonu od 150 W po 1000 W. [19][21][22][23][24]



Obrázek 4.3 – MH Sodíková lampa [25]



Obrázek 4.4 – HPS Zářivková trubice [18]

Vysokotlaké halogenidové výbojky (MH)

MH (Metal halide) lampy jsou významné ve svém modrém a bílém spektru. Halogenidová výbojka se skládá z vnější banky a obloukové trubice. Oblouková trubice má dvě elektrody, mezi kterými přechází elektrický proud v důsledku přivedení napětí. V této fázi se rtuť začne zahřívat a následně odpařovat. Pod zvyšující se teplotou dochází k přeměně halogenidu kovů na plyn, který se následně začne vzdalovat od oblouku, a tím dojde ke vzniku bílého světla. Mezi výhody MH výbojek řadíme jejich dlouhou životnost, energetickou účinnost, širokospektrální záření a možnost využití jak v interiérech, tak v uzavřených venkovních systémech, protože okolní teplota nemá žádný vliv na fungování lampy. Nevýhodou může být dlouhá doba zahřátí výbojky, než dojde k vyzařování světla. [19][21][22][25]

4.2.3 Indukční výbojky

Indukčním výbojkám se také říká plazmové světelné zdroje. Je to nový světelný zdroj bez vláken a elektrod. Výboj v indukčních výbojkách se vzbuzuje v důsledku vysokofrekvenčního magnetického pole. Indukční světlo je charakteristické svou dlouhou životností až 100 000 hodin. Délka světelného spektra je obdobná tomu slunečnímu, tzn. světlo je velmi přirozené a účinné. Vysoká cena světla odpovídá účinnosti. Výhodami světla jsou rychlý start, samostatné fungování bez údržby, nízká spotřeba elektřiny, bezporuchovost a šetrnost k životnímu prostředí díky svým nízkým emisím. [19][26][27]



Obrázek 4.5 – Indukční výbojka [26]

4.2.4 LED osvětlení

Světelné diody LED (Light-Emitting Diode) jsou nejúčinnějšími svítidly ze všech tří hlavních typů. Jejich světelná účinnost je kolem 60 %. LED diody svítí na principu elektronických polovodičových součástek, kterými prochází elektrický proud. Při správné volbě diod a jejich barev lze dosáhnout ideálního světelného spektra o vlnových délkách, které se budou v průběhu růstu měnit podle potřeby dané rostliny. LED systém je velmi jednoduchý na obsluhu, nejsou nutné žádné předřadníky, pouze napojení do zásuvek, a přesto že je tak efektivní, tak jeho zahřátí je minimální. Díky nízké teplotě lze osvětlení zavěsit blízko rostlin. V případě umístění dále od rostlin nebude osvětlení ztrácet

svoji intenzitu, protože diody poskytují velmi silnou koncentraci světla. Nevýhodou může být cena, protože LED osvětlení je mnohem dražší než fluorescenční svítidla. Cena odpovídá výkonu a dlouhé životnosti diody, a to až 50 000 hodin. [17][18][19][20][21]



Obrázek 4.6 – LED panel [32]

5 CHLAZENÍ SVÍTIDEL

Svítidla za účelem dosažení ideálního spektra barev o určité intenzitě produkují teplo, které je třeba odvádět, aby nedošlo k poruše svítidla. Výměna tepelné energie se provádí v tepelných výměnících, o kterých bychom měli vědět alespoň základní informace, abychom mohli navrhnout správný chladicí výměník pro daný zdroj světla. Různé druhy dělení výměníku jsou popsány v následující kapitole. [33][34]

5.1 Tepelný výměník

Proces výměny tepelné energie mezi dvěma nebo více teplosměnnými médii o různých teplotách se odehrává v tepelném výměníku. Přestup energie z teplejšího média na médium o teplotě nižší probíhá průběžně nebo přerušovaně. Proudící látka má podobu kapalnou nebo plynnou. Princip spočívá v teplosměnné, nepropustné stěně, přes kterou probíhá výměna tepelných energií mezi látkami, ale nedochází k jejich kontaktu. Jak tepelný výměník, tak i médium lze rozdělit podle několika charakteristik. Rozdělení je podle zdroje. [33][34][35]

5.1.1 Podle proudění teplotnosných médií

Rozdělení vzájemného směru proudění médií je důležité z hlediska přestupu tepla.

- Souproudé – osy obou proudících médií mají stejný směr a jsou rovnoběžné;
- protiproudé – osy obou proudících médií mají opačný směr a jsou rovnoběžné;
- křížové – mimoběžné osy obou proudících médií v kolmém průmětu jsou k sobě nachýlené pod úhlem 90°;
- se šikmým prouděním – mimoběžné osy obou proudících médií v kolmém průmětu mají nachýlení větší nebo menší než pod úhlem 90°;
- kombinované proudění;
- s vícenásobným souproudým, protiproudým a křížovým prouděním.

5.1.2 Podle pracovního systému

- Rekuperační – výměna tepelných energií mezi proudícími médii probíhá přes nepropustnou stěnu;
- regenerační – ve vymezeném prostoru tepelná energie přechází z teplejší látky na ohřívající se látku pomocí třetího média, které teplo akumuluje;
- směšovací – dochází ke vzniku homogenní směsi dvou smíchaných médií z důvodu chybějící teplosměnné plochy;
- kontaktní – proudící látky mají různé fáze, dochází ke kontaktu médií, ale nedochází k jejich promíchání.

5.1.3 Podle teplotnosných médií

- Kapalinová: voda – voda;
- plynná: spaliny – pára;
- spaliny – vzduch;
- pára – vzduch;

- kombinovaná: spaliny – voda;
- pára – olej;
- pára – voda.

5.1.4 Podle způsobů použití

Tepelné výměníky lze rozdělit podle jejich účelu a využití na:

- Ohříváky – skupenství se nemění, pouze se zvyšuje teplota ohřívaného média;
- chladiče – skupenství se nemění, dochází ke snížení teploty ochlazovaného média;
- výparníky a odparky – dochází ke změně skupenství ohřívaného média z kapalného na plynné;
- kondenzátory – vznik kapaliny ochlazením plynného média;
- přehříváky a mezipřehříváky – zvýšení teploty páry syté nebo přehřáté;
- sušárny – vlhkost média se snižuje;
- termické a odplyňovací vody – pohlčené plyny jsou odloučeny v důsledku ohřevu vody na bod varu;
- tělesa ústředního vytápění – okolní vzduch je ohříván přes topné médium.

5.1.5 Podle konstrukčního řešení

Konstrukce výměníků a jejich tvary se vybírají podle dané charakteristiky jak daného výměníku, tak proudícího média. Mezi mnohými konstrukčními druhy si můžeme vybrat např.:

- Bubnové;
- trubkové;
- deskové;
- svazkové;
- žebrové.

5.2 Teplosměnné médium

Při výběru teplosměnného média je důležité znát jeho charakteristiky, jak reaguje v daném prostředí a jaké požadavky by mělo splňovat. Vlastnosti teplosměnného média pro ideální případ jsou:

- Médium o velké měrné tepelné kapacitě;
- médium o nízké viskozitě;
- médium o nízké agresivitě;
- médium o vysokém součiniteli tepelné vodivosti;
- médium o vysokém součiniteli přestupu tepla;
- nízká cena. [33]

Všechny tyto požadavky nelze splnit, ale média, která k nim mají nejbližší, jsou vodní pára a voda. Mezi nevýhody vody řadíme možnost vzniku koroze a problém s odpařováním v důsledku neudržení tlaku při vysokých teplotách. Při volbě páry není třeba investovat do oběhového čerpadla a objevují se menší problémy s netěsnostmi, ale problém s korozí zůstává.

Dalšími teplosměnnými médii jsou tekuté kovy, které se používají v případě přenosu tepla při vysokých teplotách. Často se používá sodík a draslík. Mají velmi dobré tepelné vlastnosti, ale jejich nevýhodou je tuhnutí, když zchladnou. [33][34]

Za plynná média se považují spaliny a vzduch. Tato média mají velmi špatné tepelné vlastnosti, proto je třeba při jejich použití navrhnout větší výhřevné plochy a větší objemové průtoky. [33]

5.3 Typy chladicích systémů

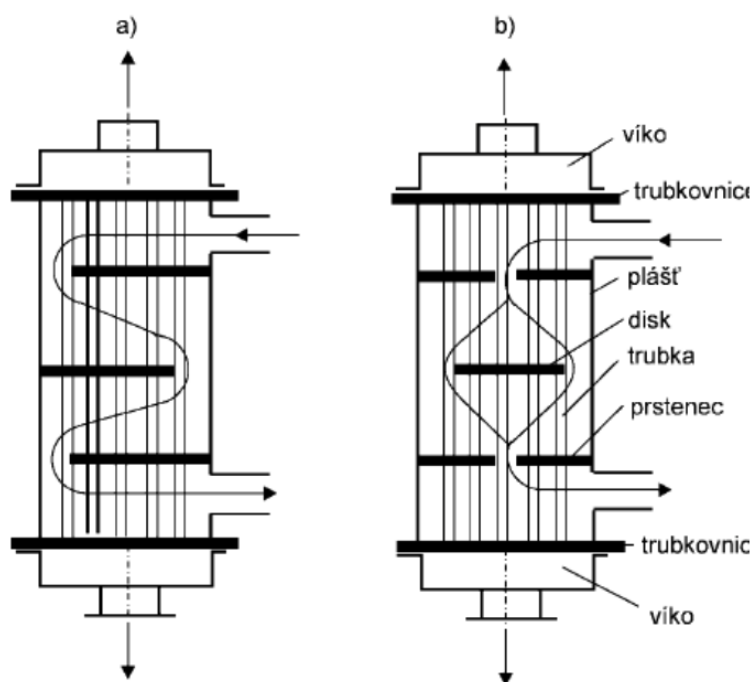
Vhodný chladicí systém pro ochlazení svítidel produkujících teplo lze vybrat mezi několika druhy výměníků, které se liší konstrukcí, materiálem, výkonem, proudícím médiem, hmotností, tlakovými ztrátami nebo cenou. Pro volbu správného chladicího výměníku je třeba zohlednit všechny parametry, tak aby byl výměník spolehlivý, co nejméně poruchový a snadno opravitelný. Mezi nejpobulárnější druhy chladicích výměníků patří trubkový výměník, deskový výměník a vzduchový chladič. Následující rozdělení je podle zdroje. [31][33][34][35]

5.3.1 Trubkový výměník

Základním typem mezi rekuperačními výměníky je:

Trubkový výměník plášťový

Je to výměník obsahující svazek trubek a je tvořen vnějším pláštěm, který z obou stran spojuje víka a vnitřní trubkovnici pomocí šroubu. Trubkovnice se skládá z hladkých nebo žebrovaných trubek a díky zaválcování tvoří trubkový svazek. Princip přestupu tepelné energie je tvořen trubkovým svazkem. Jedno médium proudí trubkami a druhé médium proudí mezitrubkovým prostorem. Každé médium má svůj vstup a výstup. Mezitrubkový prostor je vybaven přepážkami, které podpírají trubky a zvyšují účinnost přestupu tepla mezi dvěma médii. Přepážky můžou mít podobu segmentovou nebo koncentrickou.



Obrázek 5.1 – Plášťový trubkový výměník tepla s přepážkami [36]

Mezi plášťovými výměníky rozlišujeme jak různé podoby přepážek, tak uspořádání trubek. Na obr. 5.1 lze vidět plášťový výměník s přímými (rovnými) trubkami. Další varianty výměníku s rovnými trubkami se liší kompenzací dilatace:

- Kompenzace s ucpávkou;
- kompenzace pružným vlněním;
- kompenzace s plovoucí hlavou.

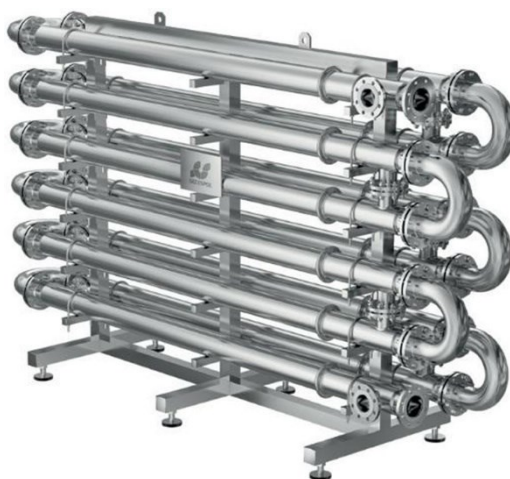
Rozšířenou variantou plášťového výměníku s přímými trubkami je:

Článekový výměník (dvoutrubkový)

Teplosměnná média v tomto výměníku mají směr protiproudý. Jelikož se jedná o konstrukci trubky v trubce, nevýhodou těchto výměníků je jev teplotní roztažnosti mezi trubkami. Proto rozdíl tlaku a teplot mezi trubkami je velmi nízký. Výhodou článekových výměníků je jednoduchá výměna trubek v případě poškození.

Plášťový výměník s U-trubkami (vlásenkový)

Dalším rozšířením mezi plášťovými, trubkovými výměníky je vlásenkový výměník s trubkami ve tvaru písmene U. Výhodou tohoto výměníku je, že teplotní roztažnost trubek nehraje závažnou roli, protože trubky se mohou volně roztáhnout. Trubky jsou poměrně tenké a váha výměníku je nízká. Nevýhodou může být problém s čištěním vnitřní strany trubek a v případě poškození není možné trubku vyměnit.



Obrázek 5.2 – Plášťový výměník s U-trubkami [31]

Výměník se šroubovitě vinutými trubkami (spirálový)

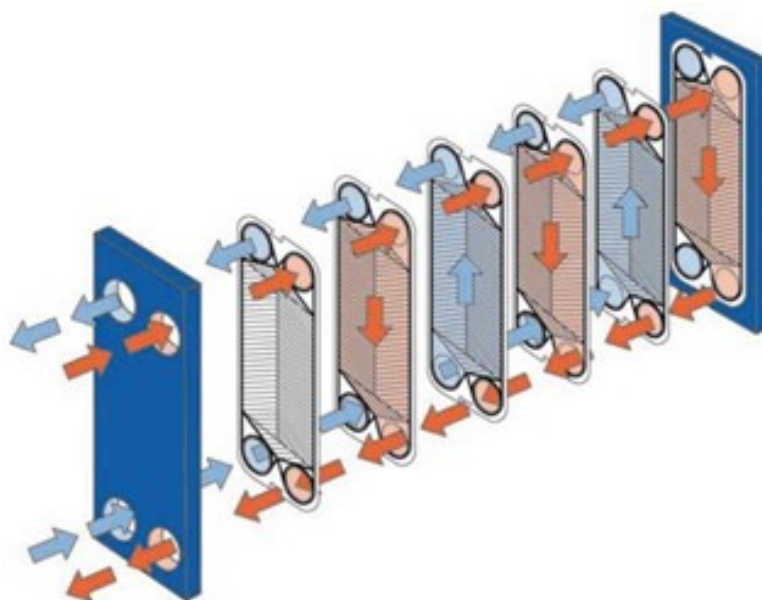
Jednou z možností chladicích systémů je spirálový výměník, jehož trubky, ve kterých proudí horká tekutina, mohou být jak hladké, tak s vnějším nebo vnitřním žebrováním. Pomocí žebrování dochází ke zvětšení teplosměnné plochy a tepelný tok uvnitř trubky se zvětší. Výroba šroubovitě vinutých trubek je snadná. Nevýhodou je nemožnost výměny trubky v případě jejího poškození.

5.3.2 Deskový výměník

Dalším odvětvím chladicích výměníků je rekuperační deskový výměník. Plocha, přes kterou prochází tepelná energie, je tvořena kovovými deskami. Každá deska má na svém povrchu prolisy, které po stlačení desek vytvoří kanálky umožňující proudění kapalin. Výhodami deskových výměníků je jejich kompaktnost, účinnost přestupu tepla a jednoduchost při regulaci protiproudu. Deskové výměníky se liší hlavně svou konstrukcí a dělíme je na rozebíratelné a pájené.

Deskové výměníky rozebíratelné

Montované výměníky jsou nejoblíbenější mezi deskovými chladiči. Je třeba zvolit správné těsnění mezi každou dvojicí desek. Nejpoužívanějšími těsnicími materiály jsou pryž, nitril nebo silikon. Tento typ výměníku se používá hlavně tam, kde je požadováno servisování a čištění. Pokud je třeba chladicí výkon zvětšit, je možné přidat teplosměnné desky.



Obrázek 5.3 – Deskový výměník (rozebíratelný) [38]

Deskové výměníky pájené

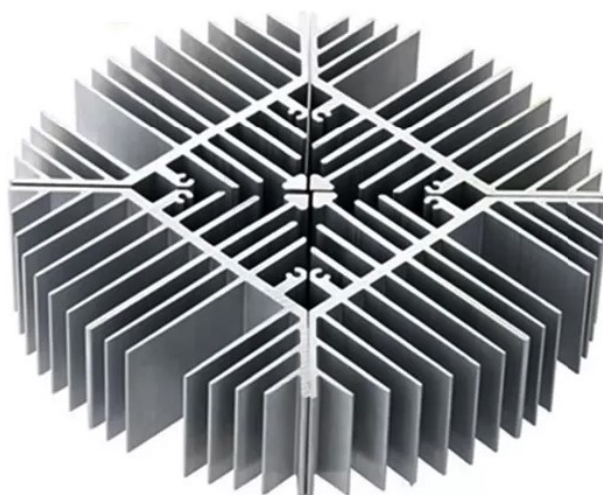
Vysoce účinný a mědí pájený výměník se používá pro chlazení kapalin nebo plynů. Jedná se o konstrukci bez těsnění. Teplosměnné desky jsou nejčastěji vyrobeny z nerezové oceli. V některých případech se pro pájení používá nikl a pro konstrukci dvojité stěny, a to z bezpečnostních důvodů.

5.3.3 Chladič (heat sink)

Mezi velmi populární výměníky tepla patří chladiče, které jsou využívány nejen pro zdroje světla, ale v celém elektronickém průmyslu obecně. Chladiče fungují na principu konvekce, kde ze zahřívaného zařízení je přenášena tepelná energie na žebrovanou plochu, která je pak dále odváděna médii, jímž je ve většině případu vzduch, ale může být odváděna rovněž kapalným chladivem. Materiály použité pro výrobu chladičů jsou nejčastěji hliník nebo měď. Hlavní dvě kategorie chladičů jsou pasivní a aktivní. [29][30]

Pasivní chladič

Levnější variantou chladiče je pasivní chladič, který nemá žádnou pohyblivou část a odvádí teplo bez napájení. Využíváním procesu konvekce je chladič daleko spolehlivější, ale o to méně účinný. [29][30]



Obrázek 5.4 – Pasivní chladič [30]

Aktivní chladič

Je to velmi výkonný chladič skládající se z pohyblivých částí umožňujících lepší průtok odváděného média. Aktivní chladič zvyšuje koeficient přenosu tepla přes použití ventilátoru nebo dmýchadla. Přírozená konvekce může být v některých případech pasivních chladičů nedostatečná, a proto se volí dražší, ale účinnější varianta chladiče s ventilátorem, který poskytuje lepší cirkulaci vzduchu. [29][30]



Obrázek 5.5 – Aktivní chladič [40]

6 VOLBA VHODNÉ TECHNOLOGIE

Pro svojí bakalářskou práci navrhují chladicí výměník světelného zdroje pro pěstování řas, a proto kromě návrhu výměníku je důležité vybrat účinné osvětlení a vhodný fotobioreaktor. Výrobci neustále zlepšují technologické parametry zařízení, a proto jestli chceme použít ty nejúčinnější technologie, je důležité kontinuálně sledovat trh.

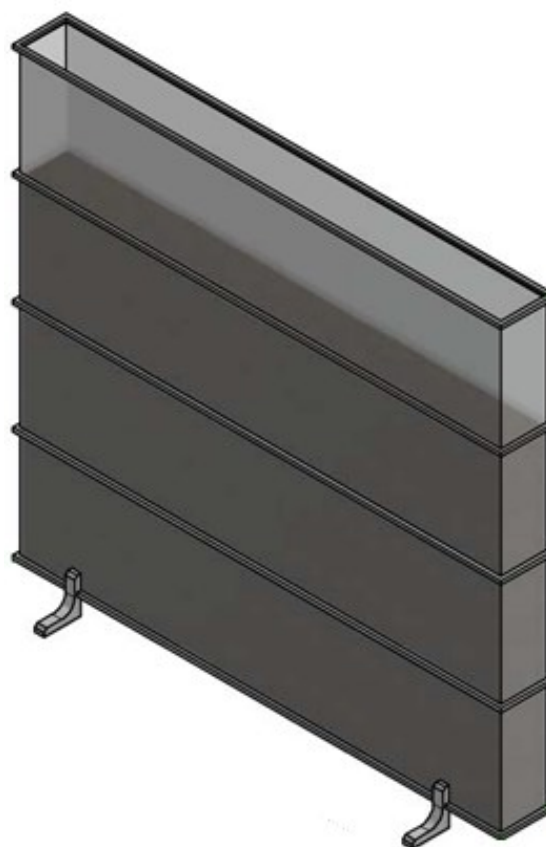
6.1 Volba vhodného fotobioreaktoru

Každý typ fotobioreaktoru má své výhody a nevýhody a jestli chceme vybrat vhodný kultivační systém, pak musíme brát v potaz všechny jeho parametry.

Výhodami uzavřených systémů je větší kontrola nad kultivačním procesem a zamezení kontaminace média v důsledku toho, že reaktory nejsou v přímém kontaktu s přírodou. Uzavřené reaktory můžeme rozdělit podle účelu kultivace na komerční a laboratorní. Já zvolím nejkomerčnější možnou variantu, a proto je pro mě množství zpracovaného média primárním faktorem. Z pohledu množství vyprodukovaného objemu řas jsou nejlepšími variantami deskové a válcové fotobioreaktory. Tvar fotobioreaktoru má vliv mimo jiné na prozařitelnost objemu proudícího média. Nejefektivnější prozařitelnost mají deskové a trubkové reaktory. Válcové reaktory mají nejširší průměr, a proto není dopad slunečních paprsků na všechny buňky v celém objemu příliš efektivní, ale při účinném míchání média lze dosáhnout vysoké účinnosti. Čím větší plochu reaktoru zvolím, tím více média ozáším, a proto je pro mě velikost ozářené plochy důležitým parametrem.

Z hlediska ekonomického je třeba rozlišovat vstupní investici a náklady na provoz. Konstrukční náklady jsou daleko vyšší u uzavřených systémů než u otevřených reaktorů kvůli množství součástí a komplikovanosti sestavení jednotlivých prvků systému. Náklady na provoz jsou u uzavřených fotobioreaktorů také vyšší, a to z důvodu regulace teploty, osvětlení, chlazení svítidel a celé spotřebované energie na provoz. Je třeba ale náklady u různých typů reaktorů porovnat v závislosti na produkci 1 kg řas. Náklady na vyprodukování 1 kg řas jsou nejmenší u fotobioreaktorů uzavřených a polouzavřených.

Pro potřeby své bakalářské práce zvolím deskový fotobioreaktor, který je vhodnou variantou jak z hlediska množství vyprodukovaných řas, tak i z hlediska nízkých nákladů. [5][8][10]



Obrázek 6.1 – Návrh fotobioreaktoru

6.2 Volba vhodného zdroje světla

Podobně jako u fotobioreaktoru mají umělé zdroje světla své výhody a nevýhody. Liší se mnoha parametry, které ovlivní růst rostlin i spotřebu energie.

Nejhorší variantou pro volbu světelného zdroje by byla klasická žárovka, která má dnes minimální využití v rámci pěstování rostlin. Žárovka vyzařuje velké množství tepla a její světelné spektrum se nemůže s LED systémy rovnat. Mezi světla o nízké teplotě patří LED a CFL zářivky. Vysokotlaké výbojky se více zahřívají, a to zejména v letních obdobích. Nízkotlaké výbojky se nezahřívají, ale také nejsou ideální variantou, protože ve studených prostředích neudrží optimální teplotu. Z pohledu barevného spektra jednoznačně vítězí LED osvětlení, díky diodám, které dokonale emitují délku a frekvenci elektromagnetických vln zářících ze slunce. LED osvětlení lze pořídit jako hotový LED panel o plném spektru barev, které potřebujeme pro kultivaci rostlin. Sodíkové výbojky také svítí v různých barevných spektrech, ale většinou jenom v barvě pro dané růstové období. LED osvětlení jsou daleko modernější díky možnosti naprogramování, a to jak podle vegetační doby, tak i podle ročního období a změny dne a noci.

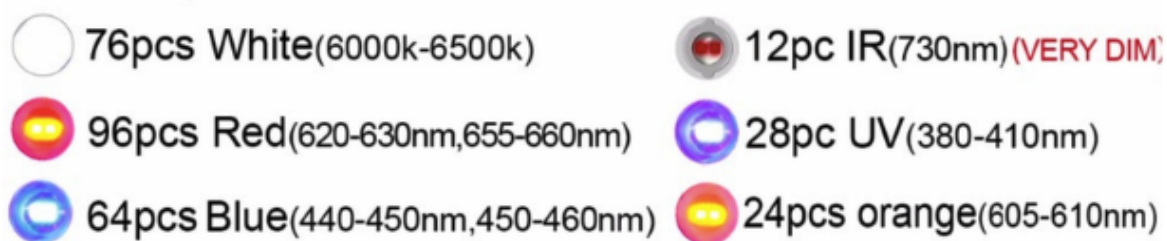
Další výhodou LED technologie je jejich efektivní pokrytí pěstované plochy. Samozřejmě záleží na druhu rostliny, kterou chceme pěstovat, na intenzitě světla a světelného toku, která daná rostlina potřebuje. Průměrně lze říci, že na 1 m² pěstební plochy potřebujeme 400W výbojku. V případě použití LED osvětlení prosvítí stejnou plochu 300W světlo. Celkový výkon záření se podává v lumenech a počet lumenů na 1 W je nejvyšší u LED technologie. [17][18]

Z ekonomického hlediska se umělé zdroje světla liší jak kupními investicemi, tak provozními. Z pohledu pořizovacích nákladů jsou nejhorší variantou LED svítidla, protože jsou nejdražší. Jejich cena ale odpovídá výkonu a dlouhodobé životnosti. Vysokotlaké výbojky a CFL zářivky patří mezi levnější varianty. Hlavně u nízkotlakých výbojek se setkáváme s velmi nízkými náklady na dlouhodobé pěstování. Nízkou spotřebu elektrické energie mají LED zářivky, a proto mají rychlou návratnost kupní investice. [19] [21]

Pro svojí bakalářskou práci volím LED technologii, která je nejkomerčnějším řešením umělého zdroje světla, a já osobně si myslím, že je také nejvhodnější. Volba vhodné kombinace čipu má dopad na růst rostliny, a proto jsem zvolil již sestavený LED společnosti LED-POWER, který se skládá z kombinace několika čipů. Panel patří mezi nejúčinnější světelné aplikace na trhu, protože je osazen velmi moderními epistar čipy od bílých, přes infračervené až po UV.

Hlavní parametry panelu, podle zdroje [32]:

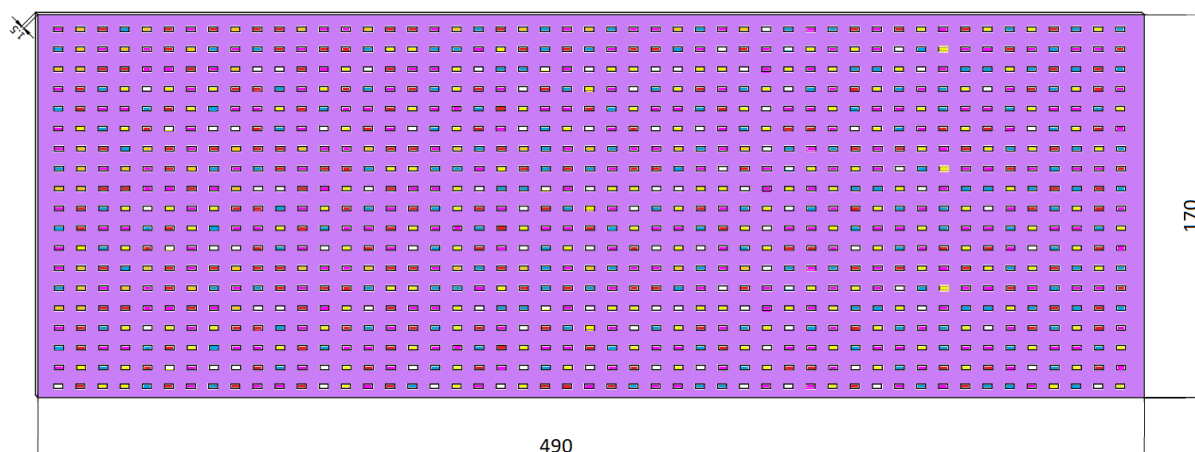
- Panel je sestaven z 300 čipů;
- příkon jednoho panelu je 615 W;
- svítivost je 34125 lumenů;
- účinnost čipu je 114 lm/watt;
- životnost je 50.000 hodin;
- rozměr desky je 490x170mm;
- pracovní teplota -20 +40 °C;
- spektrum barev: bílá, červená, modrá, oranžová, UV, infračervená.



Obrázek 6.2 – Použité led čipy [32]

Přeměna vstupní energie u LED čipu na energii světelnou a energii tepelnou je neúčinnější ze všech světelných zdrojů, ale přesto není stoprocentní, protože teplo musí být stále odváděné. Účinnost se pohybuje od 40-90 %. Nejvyšší světelnou účinnost mají bílé diody. Kdybychom měli LED panel složený pouze z bílých diod, pak by účinnost mohla být 90%, ale protože panel, který použiji, v sobě kombinuje 6 různých typů diod, tak účinnost bude taktéž menší. Pro pěstování řas je nejlepší variantou panel s různými druhy diod, díky čemuž je jeho tepelná energie významně vyšší. Účinnost přeměny energie u toho typu panelu dosahuje 60 %. Zbylých 40 % výkonu se promění na teplo. [28]

Celý světelný zdroj, který použiju pro můj chladič, se skládá z 14 led panelů. Každý bude disponovat příkonem 615 W. Celkový příkon světelného zařízení tak bude 8610 W a při účinnosti 60 % bude tepelná energie zařízení 3600 W. Uložení všech panelů na výměníku je zobrazeno v přílohách C, D.



Obrázek 6.3 – Použitý led panel

Mezi hlavní výhody LED osvětlení patří jejich úspornost a životnost. Dalšími důvody, proč investovat právě do LED svítidel, jsou:

- Proces zapínání a vypínání nijak razantně neovlivňuje životnost LED svítidla;
- není třeba čekat, než se dioda zahřeje. Dioda v okamžiku využije svůj plný výkon;
- diody svítí v požadovaných barvách, bez instalace filtru;
- oproti výbojkám nedochází při přeměně elektrické energie na světlo k výraznému nárůstu provozní teploty;
- šetrnost k životnímu prostředí;
- konstrukce bez použití toxických látek;
- kompaktní rozměry. [17][21]

6.2.1 Přehled výrobců světelných systémů

Při výběru svého světelného zdroje jsem čerpal z několika zdrojů českých výrobců LED panelů, kteří navrhují světelné systémy tak, aby obsahovaly ty nejmodernější LED čipy se správným spektrem barev, včetně chlazení a veškerého příslušenství.

První firmou, kterou jsem našel, byla společnost LEDIDEAL, jež má na svých stránkách mnoho informací o svých systémech, které navrhují v Orlové, skládají v Brně a prodávají po celé České republice i do zahraničí. Tato firma se zaměřuje na vývoj a výzkum led osvětlení pro kultivaci rostlin. Neustálé inovace jim dovolují konstruovat světelné systémy jak pro malé pěstírny, tak pro průmyslové skleníky o rozměrech až 100 m². Pro sestavení svých světelných aplikací používají jedny z nejúčinnějších led čipů firmy SAMSUNG.

Samsung je dodavatelem umělých zdrojů světla do celého světa. Jejich nabídka je velmi široká a umožňuje koupit zdroje světla do všech energetických zařízení, od malých čipů až po finální světelné systémy. Jejich čipy jsou velmi efektivní, jelikož disponují svítivostí až 220 lm/W.

Dalšími světovými výrobci světelné technologie jsou:

- Cree-led;
- Osram;
- Philips;
- Signify.

Společnost Osram se zaměřuje hlavně na osvětlení pro automobilový průmysl a všechno, co je spojené s vybavením a údržbou automobilů. Nejedná se o přímého výrobce pěstebních panelů, ale lze u něj zakoupit led diody podle vlastních potřeb, a světelný systém si tak zkonstruovat samostatně.

Philips a Signify patří mezi světové lídry v oblasti osvětlení průmyslových a veřejných prostorů, domácností, kancelářských a zemědělských prostorů. Jsou významní nejen širokým spektrem produktů, které nabízejí, ale také spolehlivostí a účinností.

Společnost Cree-led je mezi pěstiteli velmi oblíbená, protože se zaměřuje na výrobu, inovaci a konstrukci těch nejúčinnějších led technologií na trhu. Specialisté společnosti Cree Led se zabývají výzkumem led technologií, a to v rámci hustoty lumenů, intenzity záření, účinnosti, světelného spektra a spolehlivosti. [39][41][49][50]

6.3 Volba vhodného chladičového výměníku

Chladičí výměníky se ve většině případů pořizují již vestavěné v konstrukcích se zdrojem světla, tudíž není nutné se zabývat tím, který výměník bude ten nejvhodnější. V rámci své bakalářské práce navrhují vlastní konstrukční řešení výměníku, a proto je nezbytné zohlednit více faktorů, aby nedošlo k přehřátí světelného systému a následnému poškození celého zařízení. Prvním parametrem, který je nutné zohlednit, je výkon světla.

V případě nízkovýkonných světél se často využívá pasivní chlazení, které odvede většinu tepla, je levné a jeho provozní náklady jsou prakticky nulové. Nevýhodou pasivních chladičů je, že jsou závislé na teplotě vzduchu a celé odebrané teplo nemá další využití.

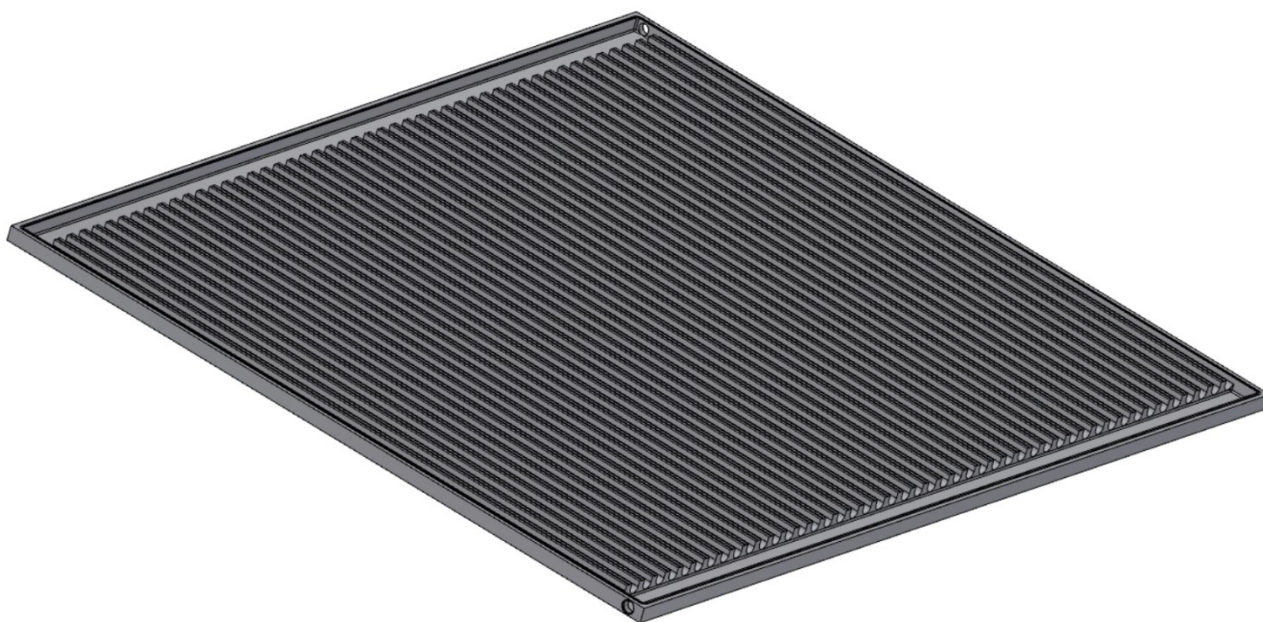
V rámci výkonnějších světél mají velké využití aktivní chladiče, které jsou velmi účinné, ale mají více nevýhod. Jsou hlasitější, dražší na provoz a odvedené teplo ztrácí své následné využití.

V případě vysoce výkonných světél je třeba použít výměník, který bude mít účinnější odvod tepla. Mezi nejčastěji používané patří deskové nebo trubkové výměníky. Mezi výhody obou výměníků

patří vysoká účinnost, a to díky regulaci intenzity průtoku chladiva a následné využití zahřáté kapaliny, která teplo odvádí. Údržba trubkových výměníků je snadná, taktéž jako jejich čištění. Jejich konstrukci můžeme vzhledem k mnohonásobně vyšším tlakům a výkonům označit jako naddimenzovanou. V případě deskových výměníků není provozní cena až tak velká a součinitel přestupu tepla příliš vysoký. Výhodou pájených deskových výměníků je jejich těsnost. Jako nevýhodu je nezbytné uvést zejména nerozebíratelnou konstrukci, která značně komplikuje údržbu, a čištění výměníku. Rozebíratelné výměníky jsou dle mého názoru jednoznačně lepší variantou.

Dalším důležitým parametrem je teplosměnné médium proudící ve výměníku. V případě volby chladičů nebo pasivních výměníků je teplosměnným médiem vzduch, ale v případě volby deskových nebo trubkových výměníků je třeba zvolit vhodné médium o správné teplotě. Nejlepší součinitel tepelné vodivosti o velké měrné tepelné kapacitě a relativně nízké ceně má voda. Jedinou nevýhodou vody je možnost vzniku koroze. [31][33][34][35]

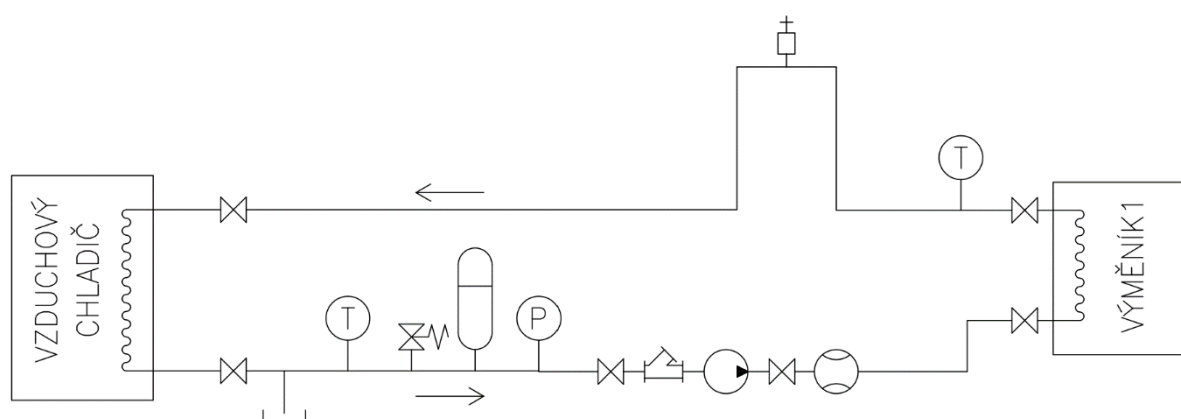
Pro svoji bakalářskou práci volím chladičí výměník chlazený vodou. Aktivní chladiče s větrákem jsou určitě levnější a také efektivní variantou, ale při jejich provozu dochází k rozvíření vzduchu v místnosti, tedy nežádoucímu jevu při kultivaci řas, jelikož by se do kultivačního média dostaly prachové částice a nečistoty. Výhodou chladiče, který bude odvádět teplo pomocí vody, je jeho tichý chod, vysoká účinnost a v případě chlazení velkého zdroje tepla také možnost využití zahřátého média.



Obrázek 6.4 – Návrh chladiče

7 NÁVRH SCHÉMATU PRO VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA Z REAKTORŮ

Uzavřený tepelný systém se skládá z několika po sobě navazujících prvků, které umožňují proudění kapaliny z výměníku přes akumulaci nádrž, zpátky do chladicího výměníku, čímž umožňují odvádět teplo, které vznikne v důsledku působení světelného zdroje.

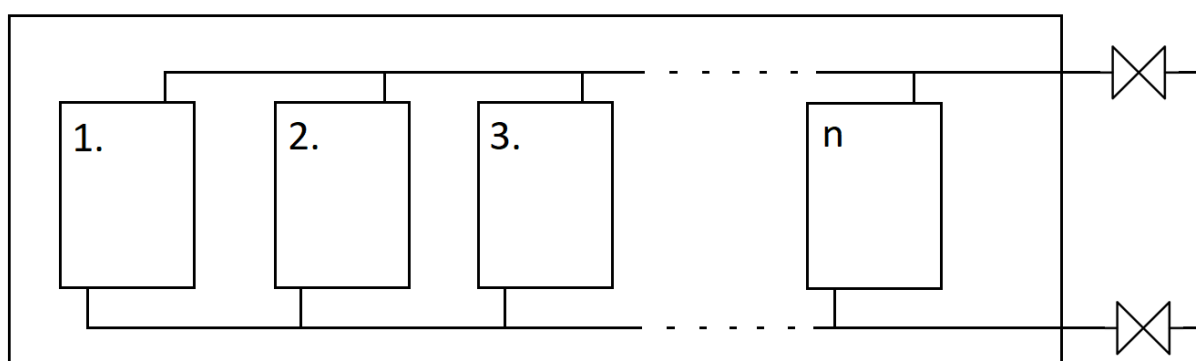


Obrázek 7.1 – Schéma chladicího oběhu

7.1 Popis použitých částí v oběhu

Výměník 1

V rámci této bakalářské práce navrhuji pouze jeden chladicí výměník s chladicím oběhem. K takovému chladicímu oběhu lze zapojit mnohem více chladičů odvádějících odpadní teplo a jejich počet závisí na množství fotobioreaktorů v místnosti. Na obrázku 7.2 lze vidět způsob paralelního zapojení více chladicích výměníků, které jsou všechny napojeny na jeden chladicí oběh. Modulární systém chladicích výměníků lze navrhnout podle individuálních požadavků zákazníka.



Obrázek 7.2 – Schéma zapojení chladicích výměníků

Vzduchový chladič

Jestli chceme konstantně chladit médium, které odvádí teplo ze světelného zdroje, pak je třeba do chladicího oběhu nainstalovat vzduchový chladič. Jedná se o chladič vzduch-voda. Hlavním účelem vzduchového chladiče je, aby médium na výstupu z chladiče mělo požadovanou teplotu, která bude nižší než na vstupu. Chladič je vybaven čerpadlem a nádrží. Montáž se provádí ve venkovních prostorech. Chladič je určen jak pro systémy klimatizace, tak pro komerční a průmyslové chlazení kapalin. Jeho korozní odolnost je velmi vysoká, a proto je venkovní montáž ideálním řešením pro odvod teplého vzduchu z výměníku. Instalace chladiče je prováděna přímo do chladicího oběhu. V mém případě budu chladit vodu, ale výměník je konstruován pro chlazení řady dalších kapalin. [42]

Pro svůj chladicí oběh si volím vzduchový chladič pro chlazení kapalin CHR 0.8-10 společnosti OMI ITALY. Parametry a podmínky chladiče vychází ze zdroje [42]:

- Chladicí výkon je 1,3 KW;
- počet axiálních ventilátorů – 1;
- výkon ventilátoru – 80 W / 0,7 A;
- průtok čerpadla – 5-40 l/min;
- objem nádrže – 10 l;
- hmotnost – 25 Kg;
- okolní teplota – 20 °C;
- kapalina – voda.



Obrázek 7.3 – Vzduchový chladič [42]

Oběhové čerpadlo

Hlavním úkolem oběhového čerpadla je zajištění oběhu proudícího média v soustavě. Oběhová čerpadla se liší podle regulace otáček na čerpadla bez regulace otáček, čerpadla se stupňovitými otáčkami a čerpadla s plynulou regulací otáček. Mezi nejkomerčnější čerpadla patří čerpadla s plynulou regulací otáček, která se přizpůsobují oběhovému systému změnou frekvence nebo napětí. Všechna čerpadla by ale měla být spolehlivá, bezporuchová, bezhlučná, účinná a měla by mít dlouhou životnost. Jejich příkon elektrické energie by neměl být taktéž vysoký. Čím novější čerpadlo, tím je účinnější z důvodu regulace výkonu, a proto je také mnohonásobně úspornější než před několika lety. [43]



Obrázek 7.4 – Akumulační nádoba – ilustrační obrázek, schematická značka [43]

Pro svůj oběh volím elektronické oběhové čerpadlo EVOSTA2, určené pro klimatizační systémy.

Primární parametry oběhového čerpadla firmy DAB:

- Teplota proudící kapaliny: -10 až +110 °C;
- tlak: 10 bar;
- napětí: 1x230V/50/60 Hz;
- provozní rozsah: od 0,4 do 3,6m³/h s výtlačkem až do 6,9 metrů. [44]

Expanzní nádoba

Tlaková expanzní nádoba je ocelová nádoba válcového tvaru, která se skládá ze dvou částí rozdělených membránou. První část je prostor vyplněný vodou z topné soustavy, která proudí přes expanzní potrubí, čímž dělá soustavu uzavřenou. Druhá část expanzní nádoby je vyplněna plynem. V celém tomto prostoru je přetlak odpovídající hydrostatickému tlaku v oběhu. Expanzní nádoba slouží pro regulaci přetlaku v celém systému, který se mění podle objemu vody. Voda v závislosti na teplotě mění svou roztažnost. V případě narůstající teploty proudící vody se začne zvyšovat její objem a v této fázi se prostor v expanzní nádobě, vymezený pro vzduch, začne zmenšovat, čímž se v celé soustavě zvýší přetlak.

Pro chladicí oběh lze zvolit nádobu jak zavěšenou s přírubou nebo horizontální s nožičkami, tak vertikální s podstavcem. Expanzní nádobu lze pořídit např. od ověřené společnosti DAB. Pro správný výběr expanzní nádoby je třeba vzít v potaz nejdůležitější parametry celého oběhu. Čím větší objem má chladicí oběh, tím větší objem má mít expanzní nádoba. [43]

Objem expanzní nádoby lze vypočítat podle rovnice (7.1) podle zdroje [53]

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_0 \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \quad [l] \quad (7.1)$$

Kde:

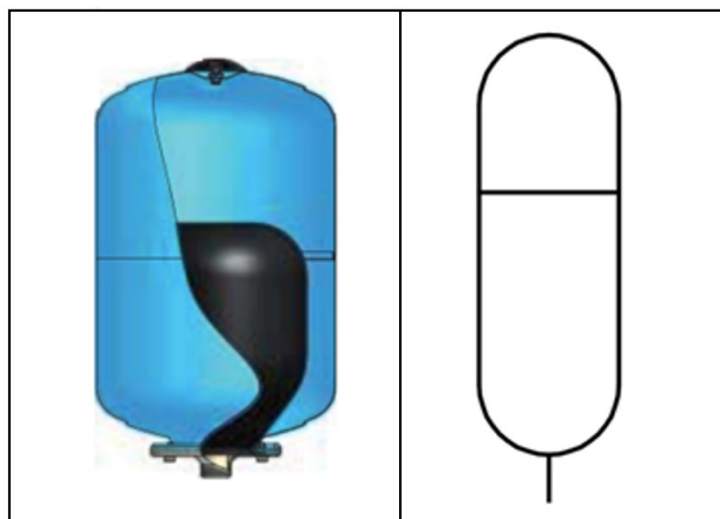
- V_{et} je objem expanzní tlakové nádoby [l]
- V_0 je objem vody v celém chladicím systému [l]
- n je součinitel zvětšení objemu [-]
- η je stupeň využití energie [-]

Stupeň využití energie lze vypočítat ze vztahu :

$$\eta = \frac{P_{h,dov,A} - P_{d,dov,A}}{P_{h,dov,A}} \quad [-] \quad (7.2)$$

Kde:

- $P_{h,dov,A}$ je nejvyšší dovolený absolutní tlak [kPa]
- $P_{d,dov,A}$ je nejnižší dovolený absolutní tlak [kPa]

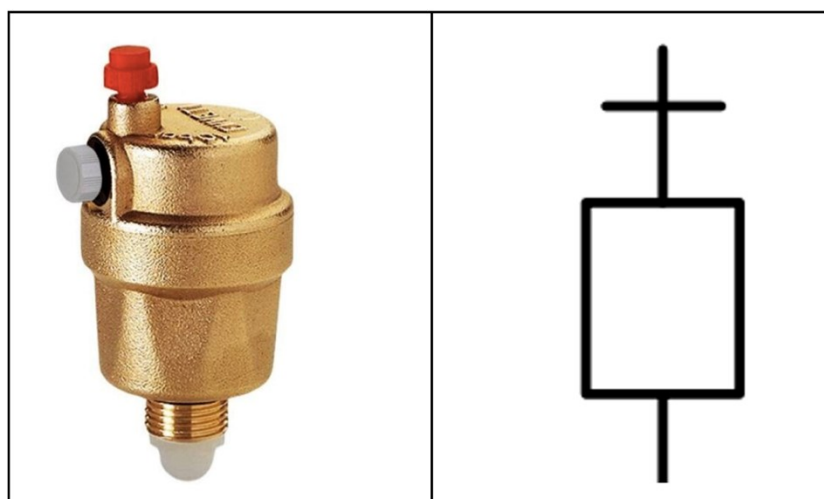


Obrázek 7.5 – Expanzní nádoba – ilustrační obrázek, schematická značka [44]

Automatický odvzdušňovací ventil

Každý chladicí systém při svém provozu začne hromadit uvnitř trubek plyn, který by mohl způsobit nesprávné proudění kapaliny, zvýšení vibrací a v nejhorším případě celkovou poruchu systému. Proto je nutné ve všech chladicích systémech nainstalovat automatický odvzdušňovací ventil, který bude odvádět přebytečný vzduch z trubek. Je důležité, aby byl ventil osazen v nejvyšším bodě oběhu, protože tam dochází ke shromáždění vzduchu.

Princip ventilu spočívá v jeho speciálním plováku, který klesá se zvyšujícím se vzduchem, a tím otevře odvzdušňovací ventil, který vypustí pouze vzduchové bubliny, ale vodu nikoliv. [43][44]



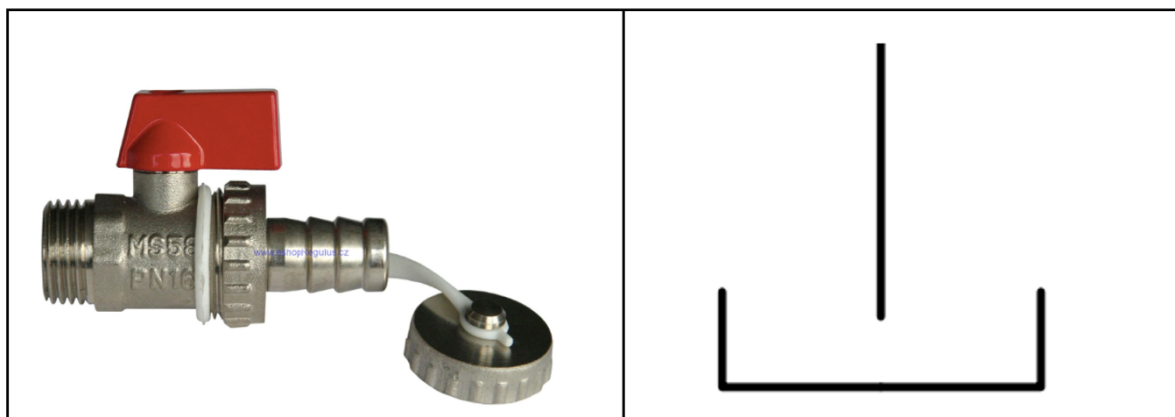
Obrázek 7.6 – Automatický odvzdušňovací ventil – ilustrační obrázek, schematická značka [43]

Pro svůj oběh volím mosazný automatický odvzdušňovací ventil typu IVAR.VARIA, který má maximální provozní tlak PN 10 a výstupní tlak PN 2,5. Maximální provozní teplotu má 120°C. Jedná se o vysoce účinný ventil používaný v mnoha systémech. [43]

Vypouštěcí ventil

Oběhové systémy jsou vybaveny vypouštěcími ventily, díky kterým lze chladicí systém vypustit. Osazení ventilu je vždy v nejnižším bodě soustavy, ke kterému musíme mít neomezený přístup. Potrubní systém může být díky ventilu podle potřeby jak napuštěn, tak vypuštěn.

Volím tedy mosazný vypouštěcí ventil 1/2" s páčkou, který má maximální tlak 10 barů a maximální pracovní teplotu 110°C. [45]

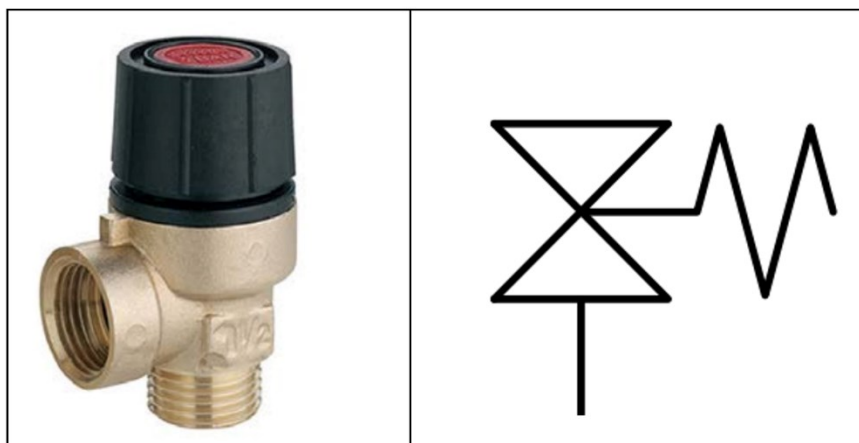


Obrázek 7.7 – Vypouštěcí ventil – ilustrační obrázek, schematická značka [45]

Pojistný ventil

Pojistný ventil neboli pojišťovací ventil zabraňuje překročení povoleného přetlaku. Umístění ventilu je před expanzní nádobou, se kterou zajišťuje bezpečnost provozu chladicího systému. Na regulaci přetlaku má velký podíl expanzní nádoba. V případě, že v nádobě není plyn pod dostatečným tlakem nebo nádoba nemá příslušný objem, pak se tlak v proudící vodě razantně zvýší. Pojistný ventil slouží ke snížení tlaku ve vodě. V momentě, kdy tlak ve vodě překročí povolenou mez, pak se pojistný ventil automaticky otevře a vypuštěním části vody dojde k jeho snížení a následnému uzavření ventilu. [43]

Volím pojistný ventil typu IVAR.PV 1234 s maximálním tlakem PN 16 a maximální provozní teplotou 110°C. Tělo je z mosaze.

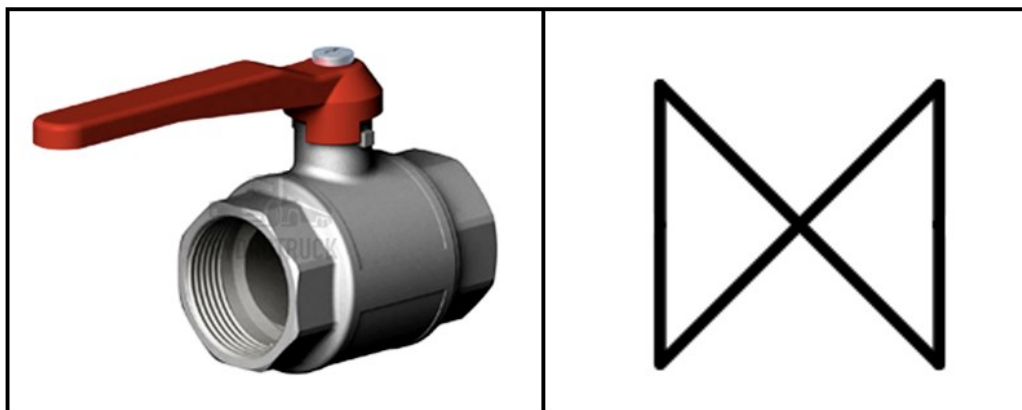


Obrázek 7.8 – Pojistný ventil – ilustrační obrázek, schematická značka [46]

Kulový ventil

Kulový ventil neboli kohoutek slouží pro uzavření potrubí. Princip spočívá v kulové části, která se nachází uvnitř ventilu, a otočením páky o 90 stupňů kulový prvek zabrání průtoku. Jedná se o velmi jednoduchý a účinný systém, který se používá pouze u menších potrubí, a to z důvodu tlakového rázu, který by mohl být v případě většího potrubí nežádoucí.

Kulové ventily se nachází vždy na vstupu a výstupu z výměníku a čerpadla. V případě svého schématu jsem použil 6 kulových ventilů společnosti HYDROTRUCK. Maximální pracovní tlak je 16 barů a ventil je v provedení s vnitřními závitů. [47]

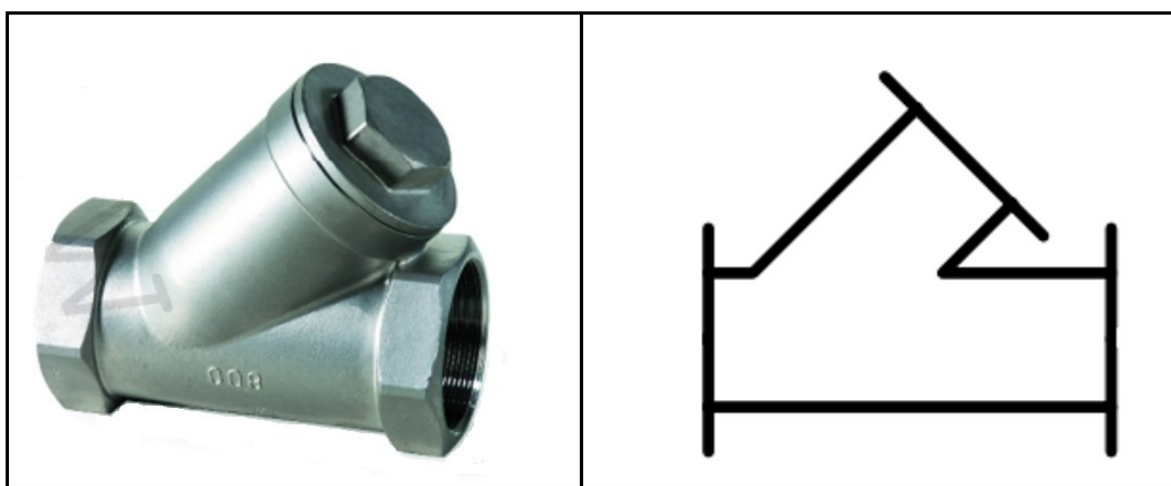


Obrázek 7.9 – Kulový ventil – ilustrační obrázek, schematická značka [47]

Filtr

Závitový filtr se používá v chladicích soustavách pro zachycování nečistot v potrubí. Filtry se instalují před čerpadla, mezi dva ventily, které průtok vody zastaví, čímž umožní vyčistit filtr bez toho, aby bylo nutné celou soustavu vypustit. [43]

Vhodnou volbou je nerezový filtr typu BRA.10.000, který je spolehlivý a zachytí všechny nečistoty, jež by mohly systém poškodit.

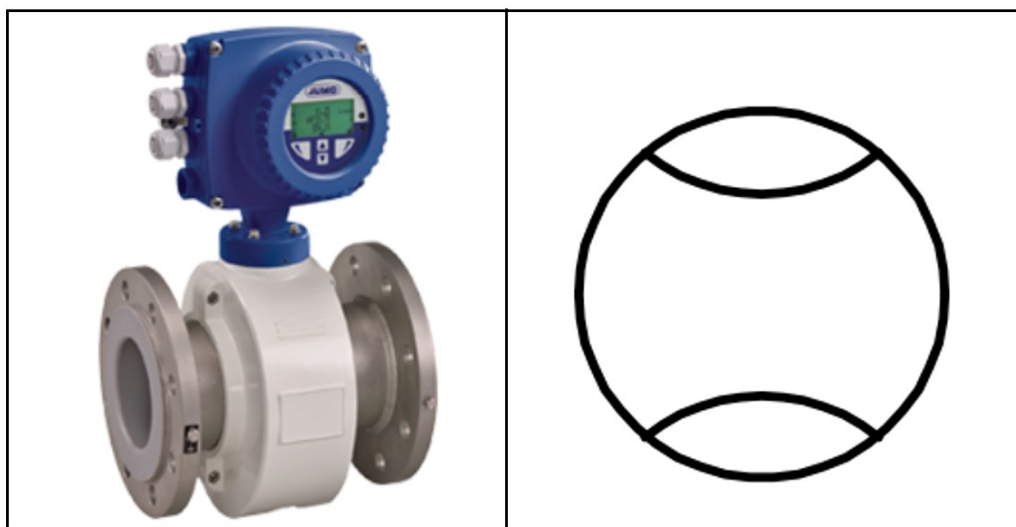


Obrázek 7.10 – Akumulační nádoba – ilustrační obrázek, schematická značka [43]

Průtokoměr

Průtokoměr slouží k měření průtoku v chladicím systému.

Pro svůj oběh jsem zvolil magneticko-indukční průtokoměr JUMO flow TRANS MAG SO1. Jeho měření je velmi efektivní, přesné a spolehlivé. Díky průtokoměru můžeme měřit i regulovat průtok. [48]



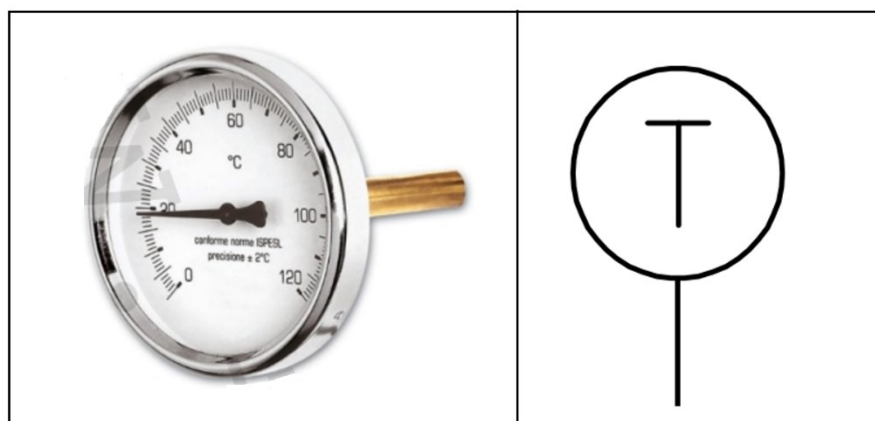
Obrázek 7.11 – Průtokoměr – ilustrační obrázek, schematická značka [48]

Teploměr

Teploměr se používá k měření teploty vody na několika místech chladicího systému. Teploměry se vyrábí jak axiální, tak radiální a lze je zakoupit rovněž v hybridní verzi – termomanomentr, což je spojení teploměru a manometru.

V systému jsem teploměr využil ve dvou místech. Jeden na výstupu z výměníku A, hned za kulovým ventilem, a druhý mezi vypouštěcím ventilem a pojistným ventilem. [43]

Vhodnou variantou teploměru bude typ: IVAR.TP 120 A, který je schopen zaznamenat teploty od 0 °C do 120 °C.



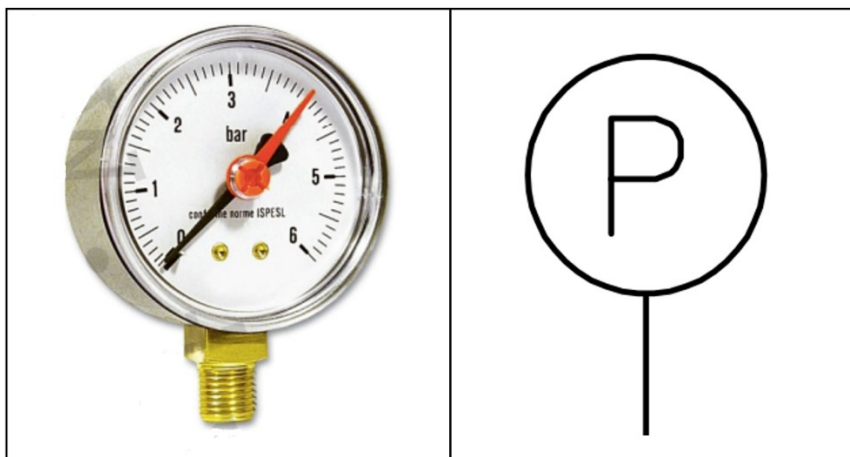
Obrázek 7.12 – Teploměr – ilustrační obrázek, schematická značka [43]

Manometr

Manometr se používá k měření tlaku média na různých místech topného systému.

Manometr jsem ve svém schématu použil pouze jednou, a to mezi pojistným ventilem a kulovým ventilem. [43]

Typem radiálního manometru, který jsem zvolil, je IVAR.MR 50, jenž má tlakový rozsah 0-16 bar.



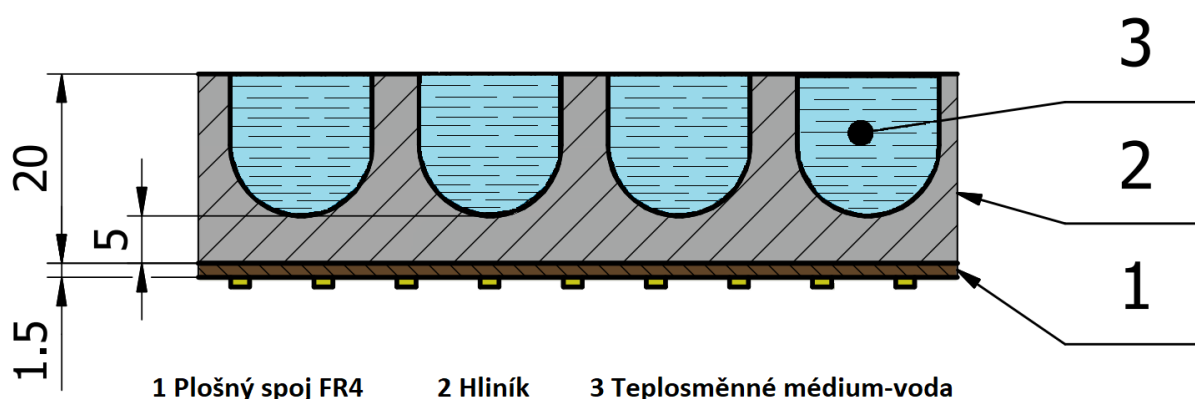
Obrázek 7.13 – Manometr – ilustrační obrázek, schematická značka [43]

7.2 Možnosti využití odpadního tepla

Médium pro chlazení světelného zdroje se neohřeje na takovou teplotu, aby mělo následné využití, a proto odpadní teplo proudí přes chladicí oběh do vzduchového chladiče, jehož účelem je zmařit určité množství tepla.

8 VÝPOČET VÝMĚNÍKU PRO VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA

V následující kapitole je popsán orientační výpočet chladicího výměníku pro využití odpadního tepla. Hlavním cílem výměníku je přenos tepelné energie z umělého zdroje světla do proudícího média. Teplota led čipu nesmí překročit dovolenou mez. Výpočet je prováděn k mému navrženému chladiči, ve kterém proudí teplosměnné médium, tedy voda. Chladič z mnohočetnými drážkami umožňuje přestup tepla z led čipů, které jsou uloženy na plošném spoji, přes hliníkový plech do vody. Výpočetní rovnice vychází ze zdroje [52]. Rozměry pro všechny výpočty byly získány z výkresové dokumentace, kterou lze nalézt v přílohách A, B.



Obrázek 8.1 – Řez výměníku

Na obrázku (9.1) je znázorněn řez výměníku, ve kterém dochází k přestupu tepla.

8.1 Výpočet teploty vody na výstupu

Pro výpočet teploty vody na výstupu je třeba vypočítat rychlost proudění média, hmotnostní průtok vody a odvedený výkon z jednoho kanálu výměníku.

Výpočet rychlosti proudění média v drážkách

Výpočet rychlosti proudění lze odvodit z rovnice pro Reynoldsovo kritérium. Průměrná rychlost kapaliny protékající drážkami při laminárním proudění je závislá jak na počtu drážek a jejich charakteristickém rozměru, tak na kinematické viskozitě kapaliny a Reynoldsově číslu.

$$Re = \frac{W_{voda} \cdot L}{\nu_{voda}} \quad (9.1)$$

Charakteristický rozměr je hydraulický průměr a lze ho vypočítat z průřezu a obvodu drážky.

$$L = \frac{4 \cdot S_k}{O_k} \quad (9.2)$$

$$L = \frac{4 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}{0,047} = 0,017 \text{ m}$$

$$W_{voda} = \frac{Re \cdot \nu_{voda}}{L} \quad (9.3)$$

$$W_{voda} = \frac{2320 \cdot 1,004 \cdot 10^{-6}}{0,017} = 0,137 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost si volím tak, aby Reynoldsovo číslo nepřekročilo 2320.

$$W_{voda} = 0,112 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Kde:

- Re je Reynoldsovo číslo [–]
- W_{voda} je rychlost proudění vody [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- L je charakteristický rozměr [m]
- ν_{voda} je kinematická viskozita vody [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- S_k je průřez kanálu [m^2]
- O_k je obvod kanálu [m^2]

Výpočet rychlosti proudění média na vstupu do výměníku

Výpočet rychlosti média na vstupu lze vypočítat použitím rovnic (9.2) a (9.3) při dosazení obvodu a průřezu kanálu na vstupu a při dosazení Reynoldsova čísla, které nepřekročí dovolenou mez pro laminární proudění. Ze zvoleného průřezu kanálu na vstupu $S_k = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ a obvodu kanálu na vstupu $O_k = 0,089 \text{ m}^2$ vypočítáme charakteristický rozměr.

$$L = \frac{4 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}}{0,089} = 0,018 \text{ m}$$

Po zvolení Reynoldsova čísla $Re=2285$ lze vypočítat rychlost proudění média na vstupu.

$$W_{voda} = \frac{2285 \cdot 1,004 \cdot 10^{-6}}{0,018} = 0,127 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výpočet hmotnostního průtoku vody v jednom kanálu

Pro výpočet hmotnostního průtoku vody použijeme rovnici (9.4), při které potřebujeme znát rychlost proudění, plochu kanálu a hustotu vody.

$$m_{voda} = W_{voda} \cdot S_k \cdot \rho_{voda} = 0,112 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 0,024 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (9.4)$$

Kde:

- m_{voda} je hmotnostní tok vody v jednom kanálu [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]
- ρ_{voda} je hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Výpočet hmotnostního průtoku vody v celém výměníku

Pokud máme spočtený průtok vody v jednom kanálu, tak přes vynásobení počtem trubek obdržíme celkový průtok vody ve výměníku.

$$m_{celek} = m_{voda} \cdot n = 0,024 \cdot 48 = 1,152 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (9.5)$$

Kde:

- m_{celek} je celkový hmotnostní průtok ve výměníku [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]
- n je počet kanálů [—]

Výpočet teploty vody na výstupu z chladiče

Výpočet teploty vody na výstupu lze odvodit z rovnice (9.5) pro výpočet množství tepla. Celkový výkon výměníku je roven tepelné energii světelného zdroje, která je 3600 W. Teplota vody na vstupu je 20°C. Počet kanálů ve výměníku si volím $n=48$. Nejdříve vypočteme výkon jednoho kanálu. Pro výpočet teploty vody na výstupu je třeba dále znát měrnou tepelnou kapacitu vody.

$$Q_k = \Delta t \cdot c_{pvoda} \cdot m_{voda} = (t_2 - t_1) \cdot c_{pvoda} \cdot m_{voda} \quad (9.6)$$

$$Q_k = \frac{Q}{n} = 75 \text{ W} \quad (9.7)$$

$$t_2 = \frac{Q_k}{c_{pvoda} \cdot m_{voda}} + t_1 = \frac{75}{4180 \cdot 0,024} + 20 = 20,74^\circ\text{C} \quad (9.8)$$

Kde:

- Q_k výkon odvedený z jednoho kanálu výměníku [W]
- Q je celkový odvedený výkon [W]
- t_1 je teplota vody na vstupu do výměníku [$^\circ\text{C}$]
- t_2 je teplota vody na výstupu z výměníku [$^\circ\text{C}$]
- c_{pvoda} je měrná tepelná kapacita vody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- Δt je rozdíl teplot [$^\circ\text{C}$]

8.2 Výpočet ověření maximální teploty na panelu

Každá LED dioda má ve svých technických listech napsanou maximální teplotu, kterou nesmí překročit z důvodu možného přehřátí čipu. Dovolené teploty LED čipu se pohybují od $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$. Čím vyšší teplota provozu čipu je, tím se jeho životnost krátí, a proto jsem jako povolenou teplotu čipu zvolil 60°C . Pro výpočet ověření, zda nedojde k přehřátí panelu, je třeba vypočítat součinitel přestupu tepla, hustotu tepelného toku a následně dosadit do rovnice pro prostup tepla rovinou stěnu. Jedná se o přenos tepla pomocí konvekce. [37]

Výpočet součinitele přestupu tepla

Pro výpočet součinitele přestupu tepla je třeba vypočítat Reynoldsovo číslo, Prandtlovo číslo a Nusseltovo číslo. Protože se jedná o případ zadání, ve kterém je nízká rychlost proudění a nízká intenzita přestupu tepla, výpočet provádíme s laminárním prouděním.

Reynoldsovo číslo pro laminární proudění má maximální hodnotu 2320, a proto budu dosazovat do rovnice (9.1) již mnou zvolenou rychlost proudění $0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ tak, aby Reynoldsovo číslo nepřekročilo hranici.

$$Re = \frac{W_{voda} \cdot L}{\nu_{voda}} = \frac{0,12 \cdot 0,017}{1,004 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{2031,87 [-]}$$

Pro obdržení Prandtlova čísla je třeba vypočítat součinitel teplotní vodivosti.

$$a = \frac{\lambda_{voda}}{C_{pvoda} \cdot \rho_{voda}} = \frac{0,6}{4180 \cdot 1000} = \mathbf{1,435 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}} \quad (9.9)$$

$$Pr = \frac{\nu_{voda}}{a} = \frac{1,004 \cdot 10^{-6}}{1,435 \cdot 10^{-7}} = \mathbf{6,99 [-]} \quad (9.10)$$

Kde:

- a je součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- λ_{voda} je tepelná vodivost vody [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- Pr je Prandtlovo číslo [-]

Nusseltovo číslo vypočítáme pomocí rovnice pro nucenou konvekci při laminárním proudění v kruhových kanálech. Výpočet je prováděn podle empirického vztahu (9.10) ze zdroje [51]. Rovnici lze použít v případě, že $Pr \geq 5$. Při nucené konvekci je Nusseltovo číslo funkcí Prandtlova čísla a Reynoldsova čísla.

$$Nu = 3,66 + \frac{0,0668 \cdot (D/L) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \cdot [(D/L) \cdot Re \cdot Pr]^{2/3}} \quad (9.11)$$

Kde:

- Nu je Nusseltovo číslo [-]
- D je průměr kanálu [m]

$$Nu = 3,66 + \frac{0,0668 \cdot (0,015/0,017) \cdot 2031,87 \cdot 6,99}{1 + 0,04 \cdot [(0,015/0,017) \cdot 2031,87 \cdot 6,99]^{2/3}} = \mathbf{40,73 [-]}$$

Po výpočtu empirického vztahu můžeme z rovnice (9.11) pro výpočet Nusseltova kritéria vypočítat součinitel přestupu tepla.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda_{voda}} \quad (9.12)$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{voda}}{L} = \frac{40,73 \cdot 0,6}{0,017} = 1437,53 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (9.13)$$

Výpočet hustoty tepelného toku

Hustota tepelného toku se vypočítá z rovnice (9.13) podílem celkového výkonu a plochy světelného zdroje.

$$q = \frac{Q}{S_{chladič}} = \frac{Q}{x \cdot y} \quad (9.14)$$

Kde:

- q je hustota tepelného toku [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$]
- $S_{chladič}$ je plocha světelného zdroje [m^2]
- x je jedna strana světelného zdroje [m]
- y je druhá strana světelného zdroje [m]

$$q = \frac{3600}{1 \cdot 1,210} = 2975,21 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výpočet ověření maximální teploty na panelu

Maximální teplotu světla lze vypočítat z rovnice (9.14) pro přenos tepla složenou rovinnou stěnou, při které je důležité vzít v potaz všechny vrstvy, jejich tloušťky a tepelné vodivosti. Důležité je, aby maximální teplota světla byla nižší než zvolená teplotní hranice.

$$q = k \cdot \Delta t = k \cdot (t_{max} - t_2) \quad (9.15)$$

Kde:

- t_{max} je maximální teplota světla [$^{\circ}\text{C}$]
- k je koeficient prostupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

Před úpravou rovnice pro výpočet maximální teploty je třeba vypočíst koeficient prostupu tepla mé stěny, který je dán rovnicí (9.15) a obsahuje délky všech vrstev a tepelné vodivosti vrstev.

$$k = \frac{1}{\alpha} + \frac{l_1}{\lambda_{spoj}} + \frac{l_2}{\lambda_{hliník}} \quad (9.16)$$

Kde:

- l_1 je tloušťka plošného spoje [m]
- l_2 je tloušťka hliníku mezi plošným spojem a médiem [m]
- λ_{spoj} je tepelná vodivost plošného spoje z materiálu FR4 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- $\lambda_{hliník}$ je tepelná vodivost hliníku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

$$k = \frac{1}{1437,53} + \frac{0,0015}{0,24} + \frac{0,005}{229} = 6,967 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Po úpravě rovnice pro přenos tepla lze dosazovat do rovnice pro výpočet maximální teploty.

$$t_{max} = q \cdot k + t_2 = 2975,25 \cdot 6,967 \cdot 10^{-3} + 20,74 = \mathbf{41,47^{\circ}C} \quad (9.17)$$

Maximální teplota vyšla menší než povolená teplota světla, což znamená, že tepelná energie bude dostatečně odvedena a mnou zvolené led světlo se nepřehřeje.

9 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VÝMĚNÍKU

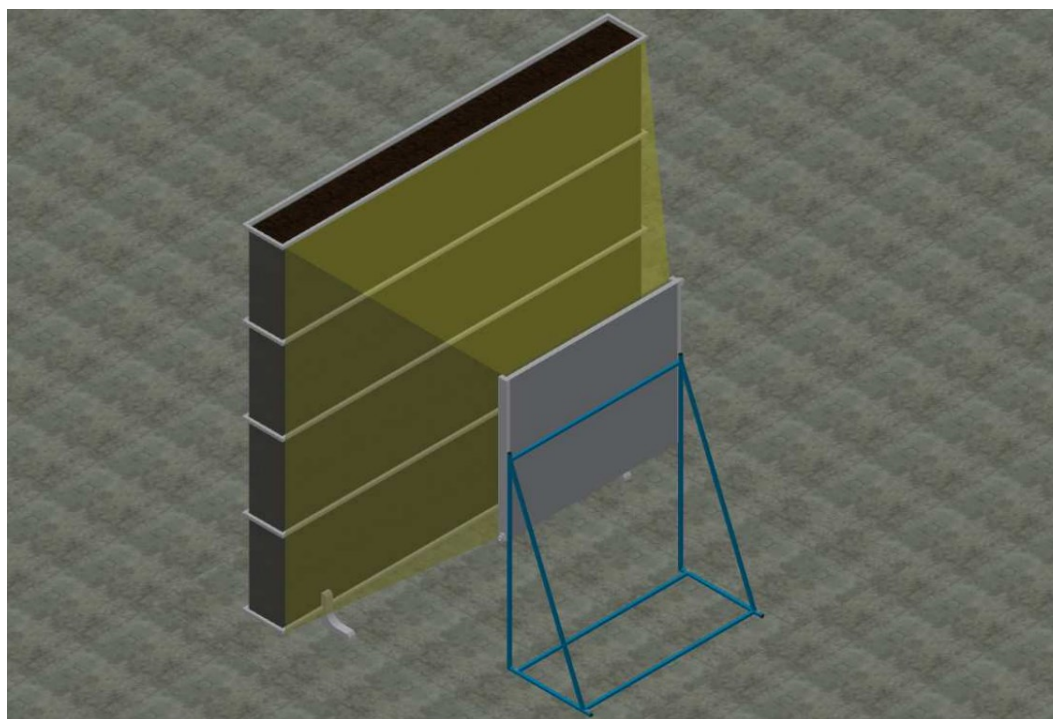
Konstrukce chladicího výměníku je zvolena tak, aby chladič účinně odváděl tepelnou energii ze světelného zdroje a aby byl technologicky vyrobitelný. Konstrukce chladiče je složena ze dvou hlavních částí, které jsou dokonale těsně spojené a umožňují tak proudění média.

První část tvoří hliníkový plech, ve kterém jsou vyfrézované mnohočetné drážky. Materiál, který jsem zvolil, je lehký kov o velmi dobrých chemických vlastnostech. Mezi hlavní výhody hliníku patří dobrá tepelná vodivost a vysoká mez pevnosti v tahu a tlaku. V hliníkovém plechu je vyfrézováno 48 drážek, do kterých vtéká médium ze dvou postranních kanálků o širším průměru a větším průtoku, jež spojují vstupní a výstupní trubky chladicího oběhu. Z důvodu nežádoucí propustnosti a ztráty kapaliny jsou na hliníkový plech umístěny o-kroužky. Mnohočetné drážky a postranní kanálky jsou znázorněny v příloze G.

Led panely jsou přilepené ke hliníkovému plechu pomocí teplo-vodivé pasty. Přestup tepla mezi led diodami a proudícím médiem je dělen plošným spojem FR4, na který jsou diody napájeny, a hliníkem, ve kterém jsou vyfrézované mnohočetné drážky.

Druhá část je vytvořena ze sklolaminátu a tvoří zadní kryt chladiče. Rozebíratelná konstrukce chladiče umožňuje snadné čištění a údržbu kanálku.

Chladič je umístěn na pevnou ocelovou konstrukci, která umožňuje světelnému zdroji svítit z požadované výšky a v konkrétním úhlu. Na povrch led panelu je umístěno ochranné sklo. Boční pohled celé sestavy je znázorněn v příloze E. Boční pohled výměníku lze nalézt v příloze F.



Obrázek 9.1 – 3D pohled na celou sestavu

10 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout chladič pro chlazení světelného zdroje k pěstování řas. Z důvodu návaznosti všech prvků spojených s produkcí řas bylo nutné uvést základní informace o pěstování rostlin a jejich požadavky na kultivaci a využitelnost. V následujících krocích byly popsány nejrozšířenější typy kultivačních zařízení a umělých světelných zdrojů. Výsledný rozbor a popis byl věnován chladicím systémům světla.

Návrh chladicího systému vyžadoval zhodnocení a volbu vhodné kultivační a světelné technologie. V první řadě bylo nutno si uvědomit, že se budu zabývat uzavřenými – vnitřními kultivačními systémy, a to z důvodu následné volby osvětlení, které není využitelné mezi vnějšími reaktory. V závislosti na porovnání různých technologických systémů jsem zvolil velmi komerční variantu deskového fotobioreaktoru. Následným krokem byla volba světelného systému. Vybral jsem led osvětlení, a to zejména z důvodu velké účinnosti čipu a využitelnosti mezi pěstiteli. Při volbě chladiče bylo nutné zjistit, jak velké množství tepelné energie je třeba odvádět, aby dioda nepřekročila maximální dovolenou teplotní mez. Panel z led čipu o tepelné energii 3600 W a dovolené teplotě čipu 60°C mi zužoval výběr chladicího výměníku. Následným velmi důležitým faktorem, který jsem nemohl zanedbat, byly provozní podmínky kultivace řas. Z důvodu prachových částic a nečistot bylo nutné zvolit chladicí výměník, který při svém provozu nerozvíří vzduch kolem reaktoru, a zabráni tak znečištění kultivačního média. Nejvhodnější variantou výměníku při zmíněných podmínkách byl chladicí výměník chlazený vodou.

V následující kapitole jsem popsal chladicí oběh s vhodným schématem. Při volbě jednotlivých prvků oběhu bylo třeba si uvědomit, že médium na vstupu a výstupu z chladicího výměníku nebude mít velký teplotní rozdíl, protože výsledný projekt měl za úkol chladit světelný zdroj, nikoliv ohřát vodu. Odpadní teplo z výměníku nedosáhlo vysoké teploty pro sekundární využití, ale přesto bylo třeba ho odvádět, a proto jsem v rámci oběhu zvolil vzduchový chladič, který je ideálním řešením pro maření tepla.

Dalším krokem bylo vypočítat teplotu vody na výstupu z chladicího výměníku a ověřit maximální teploty led diody, která nesmí překročit dovolenou teplotní mez. Po orientačním výpočtu všech požadovaných hodnot jsem došel k úspěšnému výsledku maximální teploty světla, tedy 41,47°C. Tato teplota potvrzuje, že chladicí výměník bude účinně odvádět tepelnou energii ze světelného zdroje, protože maximální teplota led čipu nepřekročí dovolenou mez 60°C.

Posledním cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční řešení chladiče a vytvořit výkresovou dokumentaci. Návrh konstrukce byl prováděn po výběru vhodné technologie. Princip výměníku chlazeného vodou spočíval v mnohočetných drážkách, které jsou detailně popsány ve výkresech. Vstup a výstup kanálku do chladiče jsem situoval v opačných rozích, aby každá molekula vody měla stejnou proudící dráhu vyfrézovanými drážkami. V této kapitole jsem zobrazil výměník již v provozu s led panely zářícími na fotobioreaktor.

Bakalářská práce splnila všechny požadované cíle a ověřila konkrétní chladicí systém světelného zdroje pro pěstování řas.

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Frantíkovi, Ph.D. za pomoc a odborné vedení při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu a trpělivost.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA. Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1036-1.
- [2] GRAHAM, L. E., GRAHAM, J., WILCOX, L. W. Algae – Second edition. San Francisco: Benjamin Cummings, 2009. ISBN 978-0-321- 55965-4
- [3] BARSANTI, Laura a Paolo GUALTIERI. Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology [online]. Boca Raton, Fl.: CRC Press, 2006 [cit. 2021-04-23]. ISBN-10: 0-8493-1467-4. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2013/Bi9535/um/ALGAE_ANATOMY_BIOCHEMISTRY_BIOTECHNOLOGY.pdf
- [4] YOUSUF, Abu. Microalgae Cultivation for Biofuels Production [online]. Academic Press, 2019 [cit. 2021-04-23]. ISBN: 9780128175378. Dostupné z: databáze Knovel
- [5] SHANG-TIAN, Yang. Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources - New Technologies and Applications [online]. Boston: Elsevier, 2007 [cit. 2021-04-23]. ISBN 978-0-444-52114-9. Dostupné z: databáze Knovel
- [6] Uceonline.cz. Nižší rostliny – řasy [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.uceonline.cz/biologie/nizsi-rostliny-rasy/>
- [7] © Johan. Řasy a podobné organismy v akváriu [online]. RYBICKY.NET, 25.11.2011 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://rybicky.net/clanky/625-rasy-a-podobne-organismy-v-akvariu>
- [8] BĚLOHLAV, Vojtěch, Tomáš JIROUT a Lukáš KRÁTKÝ. Možnosti realizace fotobioreaktorů v průmyslovém měřítku. *Chemické listy* [online]. 2018, 112(3), 183-190. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/3030/3019>
- [9] Oilgae. *Cultivation of Algae* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <http://www.oilgae.com/algae/oil/biod/cult/cult.html>
- [10] MASOJÍDEK, Jiří a kol. *Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce* [online]. Praha: Academia, 2016. Věda kolem nás. [cit. 2021-04-23]. ISSN 2464-6245. Dostupné z: https://www.alga.cz/UserFiles/mstefanova/files/Mikro%20řasy_sol%20a%20rn%20ad%20tov%20a%20v%20jedn%20bu%20ce.pdf
- [11] GROSS, Wolfgang, Otto PULZ. *Valuable products from biotechnology of microalgae*. MINI-REVIEW [online]. Springer-Verlag, 2004 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: http://biomar.fciencias.unam.mx/Sobretiros/Informacion%20algas/Algas/fitoplancton/Pulz_Gross%202004.PDF
- [12] All about Algae.com. *Algae photos* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <http://allaboutalgae.com/all-algae-photos/>
- [13] Centrum algatech. *Výzkum: Design a konstrukce kultivačních systémů* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.alga.cz/c-313-vyzkum.html>
- [14] Schott AG. *Algae harvesting kicks off!* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.schott.com/innovation/en/algae-harvesting-kicks-off/>

- [15] Arizona State University. *AzCATI Update: Plastic Film vs. Acrylic Photobioreactors* [online]. 2.8.2012 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://sustainability-innovation.asu.edu/news/archive/azcati-update-plastic-film-vs-acrylic-photobioreactors/>
- [16] University of Cape Town. *Moving algae the key to renewable oil production?* [online]. 05.9.2014 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.news.uct.ac.za/article/-2014-09-05-moving-algae-the-key-to-renewable-oil-production>
- [17] growmarket.cz. *Světelné spektrum a fotosyntéza* [online]. 29. 09. 2020 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.growmarket.cz/a/svetelne-spektrum-a-fotosynteza>
- [18] TEST, test. *Typy světel pro indoor zahradu (sodíkové výbojky nebo úsporky)* [online]. pěstík.cz, 27.04.2018 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.pestik.cz/module/csblog/post/79-14-typy-svetel-pro-indoor-zahradu-sodikove-vybojky-nebo-usporky.html#grephttps://www.growmarket.cz/a/svetelne-spektrum-a-fotosynteza>
- [19] MICHALEC, Libor. *Světlo, důležitý faktor pro pěstování rostlin* [online]. vyvoj.hv.cz, 9.7.2018 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/svetelny-zdroj-pro-pestovani-rostlin.html>
- [20] Urban Vine. *LED Grow Lights: The Advanced Guide*. [online]. 2020 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.urbanvine.co/led-grow-lights-the-advanced-guide>
- [21] Urban Vine. *Types of Grow Lights (A Beginner's Guide)*. [online]. 2020 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.urbanvine.co/blog/3-fundamental-types-of-grow-lights-used-for-indoor-urban-farming-you-should-know-about#>
- [22] Urban Vine. HPS, and MH grow lights: The advanced guide [online]. 2020 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: https://uploads-ssl.webflow.com/574871e1d4466da55c2489ff/5f4aaad3485039da7687a112_HPS%20and%20Metal%20Halide%20Grow%20Lights_%20%20The%20Advanced%20Guide.pdf
- [23] Wisconsin Energy Efficiency and Renewable Energy. *High Intensity Discharge Lamps* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://fyi.extension.wisc.edu/energy/lighting/lamp-types/high-intensity-discharge-lamps/>
- [24] ESPIRITU, Kevin. *The Best HPS Bulbs For Your Garden* [online]. Epic Gardening, 20.5.2019 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.epicgardening.com/best-hps-bulbs/>
- [25] ShineRetrofits. *All about metal halide* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.shineretrofits.com/lighting-center/faq/what-is-a-metal-halide-light/>
- [26] ekosvetla.cz. *Indukční světelné zdroje* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <http://www.ekosvetla.cz/lvd-indukcni-osvetleni/indukcni-svetelne-zdroje/>
- [27] Fedatex plus s.r.o.. *Indukční světlo* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <http://indukcnilampy.fedatex.cz/indukcni-svetlo/lvd-indukcni-svetlo/>
- [28] Top osvětlení. *Účinnost Led- nejvyšší světelná účinnost bílé Led* [online]. 27.6.2016 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.top-osvetleni.cz/clanky/ucinnost-led-nejvyssi-svetelna-ucinnost-bile-led>
- [29] arrow. *Understanding Heat Sinks: Functions, Types, & More* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/understanding-heat-sinks-functions-types-and-more>
- [30] Lighting Manufacture. *LED Heat Sinks* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.manufacturer.lighting/info/186/>

- [31] TZB-info. *Výměníky tepla v chemickém a potravinářském průmyslu* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/21556-vymeniky-tepla-v-chemickem-a-potravinarskem-prumyslu>
- [32] led-power.cz. *LED pěstování*. [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.led-power.cz/led-grow-pestebni-panel-3000w-full-spectrum>
- [33] BALÁŠ, M.: *Kotle a výměníky tepla*, 2. vydání, Cerm 2013, 119 s., ISBN 978-80-214- 4770-7
- [34] STEHLÍK, Petr, Josef KOHOUTEK a Jan NĚMČANSKÝ. *Tepelné pochody: výpočet výměníku tepla*. Vyd. 1. Brno: VUT Brno, 1991, 129 s. ISBN 80-214-0363-2
- [35] OCHRANA, Ladislav. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 85 s. ISBN 80-214-2847-3.
- [36] VÝTISK, T. *Provoz energetických strojů, Studijní opora*. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky.
- [37] Interní podklady firmy Samsung
- [38] Interní podklady firmy Alfa Laval.
- [39] Interní podklady firmy Philips
- [40] Interní podklady firmy EMKO IPC.
- [41] Interní podklady firmy Signify
- [42] Interní podklady firmy YNNA spol. s r.o.
- [43] Interní podklady firmy IVAR CS.
- [44] Interní podklady firmy DAB Pumps
- [45] Interní podklady firmy Regulus
- [46] Interní podklady firmy Estav. cz
- [47] Interní podklady firmy Hydrotruck
- [48] Interní podklady firmy JUMO
- [49] Interní podklady firmy Osram
- [50] Interní podklady firmy Cree-led
- [51] Incropera, F.P., De Witt D.P.: *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6rd. ed John Wiley & Sonst, New York 2007. ISBN :0-471-76115-X
- [52] Kadlec, Zdeněk. *Návody do cvičení předmětu Základy sdílení tepla a spalování*
- [53] BAŠTÁ, Jiří. *Návrh tlakové expanzní nádoby: Objem expanzní nádoby, seřízení přetlaku na straně vzdušiny* [online]. Praha: ČVUT v Praze, 3.12.2019. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/1156-navrh-expanzni-nadoby>

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam obrázků

Obrázek 2.1 – Příklad řasy rodu <i>Compsopogon</i> [7]	13
Obrázek 3.1 – Otevřené traťové kultivační nádrže v Mexiku [12]	19
Obrázek 3.2 – Kaskádový kultivační systém [13]	20
Obrázek 3.3 – Trubkový fotobioreaktor [14]	21
Obrázek 3.4 – Deskový fotobioreaktor [15]	22
Obrázek 3.5 – Válcový fotobioreaktor [16]	22
Obrázek 4.1 – CFL lampy [21]	25
Obrázek 4.2 – Zářivková trubice [18]	25
Obrázek 4.3 – MH Sodíková lampy [25]	26
Obrázek 4.4 – HPS Zářivková trubice [18]	26
Obrázek 4.5 – Indukční výbojka [26]	27
Obrázek 4.6 – LED panel [32]	28
Obrázek 5.1 – Plášťový trubkový výměník tepla s přepážkami [36]	31
Obrázek 5.2 – Plášťový výměník s U-trubkami [31]	32
Obrázek 5.3 – Deskový výměník (rozebíratelný) [38]	33
Obrázek 5.4 – Pasivní chladič [30]	34
Obrázek 5.5 – Aktivní chladič [40]	34
Obrázek 6.1 – Návrh fotobioreaktoru	35
Obrázek 6.2 – Použité led čipy [32]	37
Obrázek 6.3 – Použitý led panel	37
Obrázek 6.4 – Návrh chladiče	39
Obrázek 7.1 – Schéma chladicího oběhu	40
Obrázek 7.2 – Schéma zapojení chladicích výměníků	40
Obrázek 7.3 – Vzduchový chladič [42]	41
Obrázek 7.4 – Akumulační nádoba – ilustrační obrázek, schematická značka [43]	41
Obrázek 7.5 – Expanzní nádoba – ilustrační obrázek, schematická značka [44]	43
Obrázek 7.6 – Automatický odvzdušňovací ventil – ilustrační obrázek, schematická značka [43]	43
Obrázek 7.7 – Vypouštěcí ventil – ilustrační obrázek, schematická značka [45]	44
Obrázek 7.8 – Pojistný ventil – ilustrační obrázek, schematická značka [46]	44
Obrázek 7.9 – Kulový ventil – ilustrační obrázek, schematická značka [47]	45
Obrázek 7.10 – Akumulační nádoba – ilustrační obrázek, schematická značka [43]	45
Obrázek 7.11 – Průtokoměr – ilustrační obrázek, schematická značka [48]	46
Obrázek 7.12 – Teploměr – ilustrační obrázek, schematická značka [43]	46
Obrázek 7.13 – Manometr – ilustrační obrázek, schematická značka [43]	47
Obrázek 8.1 – Řez výměníku	48
Obrázek 9.1 – 3D pohled na celou sestavu	54

12.2 Seznam tabulek

Tabulka 2.1 – Nejvýznamnější rody řas [11]	16
--	----

12.3 Seznam grafů

Graf 2.1 – Poměr rychlosti fotosyntézy k intenzitě záření [4]	15
Graf 4.1 – Poměr relativní hodnoty k vlnové délce [17]	23

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Výrobní výkres – Těleso chladiče

Příloha B: Výrobní výkres – Bočnice

Příloha C: Led panel s chladičem

Příloha D: 3D model led panelu s chladičem

Příloha E: Sestava výměníku s fotobioreaktorem

Příloha F: Detail konstrukce led panelu

Příloha G: Detail mnohočetných drážek